

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI – TIZI OUZOU
FACULTÉ DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Architecture

Option « Architecture et Développement durable »

THEME

**LA CONSTRUCTION EN PISE ENTRE PERFORMANCES
ENERGETIQUES ET PERCEPTION DES USAGERS
CAS DU VILLAGE KABYLE AIT ITCHIR**

Présenté par :

M^{elle} SALMI Safia

Devant le jury composé de :

M ^r KEHILA Youcef	professeur	E.P.A.U	Président
M ^{me} BOUSSOUALIM Aicha	Maitre de conférences (A)	E.P.A.U	Rapporteur
M ^r DAHLI Mohamed	Maitre de conférences (A)	U.M.M.T.O	Examineur
M ^{me} DAOUDI Nadia	Maitre de conférences (B)	E.P.A.U	Examineur

Soutenu le : 26/02/2014

Remerciements :

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à la directrice du mémoire, Docteur Boussoualim Aïcha, pour son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

Mon vif remerciement à Monsieur le Professeur Kehila pour avoir aimablement accepté de présider le jury de ce mémoire de Magistère

Mes chaleureux remerciements et toute ma gratitude aux docteurs Dahli et Daoudi pour avoir accepté d'être examinateurs de ce travail.

J'adresse mes remerciements à Mme Atik/Mehaoued Karima pour ses précieux conseils tout au long de mon travail.

Mes remerciements à toute ma famille, mes amies et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Table des matières

Introduction générale	2
Introduction	2
1. Problématique.....	3
2. Les objectifs de la recherche.....	4
3. Hypothèses de la recherche.....	4
4. Méthodologie.....	4
5. Structure du mémoire.....	5
1. Chapitre I : Avantages de l'architecture de terre crue à la lumière des exemples	7
Introduction	8
1.1. Avantages de l'architecture de terre crue	8
1.2. Description et caractérisation des principales techniques constructives de la terre crue	12
1.3. La revalorisation de l'architecture de terre, à la lumière des exemples	15
1.3.1. L'opération du "Domaine de la terre" à l'Isle d'Abeau en France	16
1.3.2. Le projet pilote Mustafa ben Brahim à Sidi-Bel-Abbès en Algérie.....	18
1.4. Actualité de l'architecture de terre en Algérie	21
Conclusion	25
2. Chapitre II : Le pisé :Tradition/Modernité	26
Introduction	27
1.1 . Présentation de la technique du pisé.....	27
1.2 . Le pisé traditionnel et le pisé moderne.....	31
2.2. Développement durable et caractéristiques avantageuses de la construction en pisé	34
Conclusion	37
3. Chapitre III : Le pisé : Durabilité / Vulnérabilité	38
Introduction	39
3.1. De la durabilité des constructions en terre, témoignage de l'histoire	39
3.2. La vulnérabilité des constructions en terre	41
3.2.1. La vulnérabilité du pisé à l'eau.....	41
3.2.2. La vulnérabilité du pisé au séisme :	44
3.2.3. Attaques des nuisibles	44
3.2.4. Attaques physico-chimiques	44
3.2.5. Les résistances psychologiques.....	45
3.3. Le pisé : Procédés de stabilisation	45

3.4.	Quelques techniques de renforcement	47
3.5.	Inconvénient de la stabilisation du pisé.....	49
3.6.	La durabilité des constructions en terre, essais et recherches contemporaines	50
	Conclusion.....	57
4.	Chapitre IV : La relation individu-environnementet, perception de l'espace	58
	Introduction	59
4.1.	La psychologie environnementale	59
4.2.	Le processus d'interaction individu-environnement	60
4.3.	Modèles d'analyse de la relation individu - environnement	61
4.4.	La perception spatiale	62
4.5.	La représentation (le traitement cognitive de l'espace).....	64
•	Les facteurs liés à la représentation cognitive.....	65
a-	Les facteurs liés au sujet	65
b-	Les facteurs liés à l'environnement	66
c-	Les facteurs liés à l'action	66
4.6.	La prédiction environnementale.....	66
4.7.	L'évaluation environnementale	67
•	Le ressenti	68
4.8.	Adaptation environnementale.....	68
4.8.1.	Adaptation perceptuelle	68
4.8.2.	Adaptation comportementale	69
	Conclusion.....	69
5.	Chapitre V : perception des habitations en pisé : cas du village Ait Itchir	71
	Introduction	72
5.1.	Cas d'étude : Présentation du village Ait Itchir.....	72
5.2.	Le principe de conception des maisons kabyles traditionnelles.....	74
5.3.	Les procédés constructif	76
5.4.	Méthodologie de la recherche	78
5.4.1.	La préenquête	78
5.4.2.	L'enquête	84
	Conclusion.....	94
6.	Conclusion générale	96
	Conclusion.....	97
7.	Bibliographie.....	101

Listes des figures	110
Listes des tableaux	113
8. Annexes	114
Annexe A : Le bâtiment et le développement durable	115
Annexe-B : L'enquête	121
Annexe-C : Grille thématique des données de la préenquête.....	123
Annexe-D :Questionnaire d'enquête	126
Annexe-E :Photographies.....	130
Résumé.....	134
ملخص.....	135
Abstract.....	136

Introduction générale

« Le maintien d'une tradition exige la transmission de la flamme et non pas la conservation des cendres »

Introduction

Aujourd'hui, face à une prise de conscience en faveur de la protection de l'environnement, on pourrait penser que le matériau terre répond absolument aux nouvelles exigences tout en respectant l'environnement sur tout son cycle de vie. Dans ce contexte, l'architecture de terre recèle plusieurs avantages, sur différents plans ; tant social, économique, environnemental que culturel. La disponibilité du matériau et son faible coût lui promettent un large usage, c'est pour cette raison qu'à dater des années 1980, un regain d'intérêt mondial pour ces architectures impulsé à partir de l'Afrique, et se manifeste sur tous les continents. L'architecture de terre n'est donc pas seulement un vestige du passé mais une composante vivante de la vie contemporaine. Ceci est particulièrement vrai dans notre monde fragile actuel où les questions de durabilité dans l'environnement et le social prennent de plus en plus d'importance.

Des programmes d'amélioration, de conservation et de gestion du patrimoine architectural en terre sont entrepris à travers le monde, des projets pilotes ont fourni des exemples pour le développement et la diffusion de méthodes et techniques appropriées dans la construction en terre, où la conservation et le développement font partie d'un processus continu. La recherche scientifique en outre a permis de promouvoir et d'améliorer les savoir-faire dans ce domaine.

Toutefois, en Algérie, et malgré les difficultés enregistrées dans tous les domaines, ces architectures de terre ne jouissent pas d'assez d'intérêt elles sont de plus en plus menacées 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.

1. Problématique

Depuis le début des années quatre-vingt, et dans le contexte de développement durable, l'architecture de terre constitue une alternative prometteuse dans le domaine du bâtiment. Par ses avantages économiques et environnementaux, sa diversité d'application, et ses caractéristiques techniques et esthétiques, l'architecture de terre connaît un nouvel essor à travers le monde, car, contribue à faire face aux problèmes liés à l'environnement, et l'épuisement des ressources naturelles :

- Problème d'épuisement des ressources naturelles : Les experts estiment qu'au rythme actuel, nous aurons épuisé les réserves de pétrole d'ici une quarantaine d'année, et que la production de pétrole ne parviendra pas à suivre la croissance de la demande d'ici 2015-2035 (ORHL, 2006)
- Problème d'émission des gaz à effet de serre : Le protocole de Kyoto engage les pays qui l'ont ratifié à réduire globalement leurs émissions de 5,2% en moyenne entre 2008 et 2012, par rapport aux niveaux de 1990 (Bui.Q.B, 2008). Transport et bâtiment les deux cause principales de l'émission de gaz à effet de serre.

Par contre en Algérie, l'architecture de terre continue à être écartée de tout programme de développement malgré les difficultés enregistrées dans différents domaines :

- l'incapacité de répondre aux besoins de logement, la construction en terre serait d'un soutien inestimable qui réduirait les coûts de réalisation et permettrait leur amortissement de façon plus rapide, mais jusque-là, aucun autre choix n'est proposé à part les procédés conventionnels habituels.
- La détérioration du cadre de vie des populations en zones rurales, cependant, les plans du développement rural ne prévoient pas de moyens spécifiques et durables pour une nette amélioration du cadre de vie en zones rurales. L'architecture de terre, comme moyen pour redynamiser l'économie locale et améliorer les conditions de vie des ruraux, est absente de ce plan de développement.
- Des problèmes environnementaux engendrés par les villes algériennes, incapables de gérer leurs déchets, et la pollution due à leurs développements, ce qui constitue une véritable menace pour la santé publique. L'architecture de terre est l'une des solutions de ces problèmes, vue ses qualités environnementales.
- D'après le bilan énergétique national de l'évolution de la demande finale d'énergie, le secteur du bâtiment apparat comme premier consommateur énergétique national. Sa consommation peut atteindre pratiquement la moitié de la quantité globale. Le potentiel d'énergie dans ce secteur est estimé de 10 à 15 % ce qui justifie l'urgence de la mise en place d'une stratégie efficace de maîtrise d'énergie dans ce secteur (CNERIB, 1998)

- Le patrimoine architectural en Algérie est en partie réalisé en terre crue : les Ksour du Sahara et bon nombre d'habitat des Hauts Plateaux et de Kabylie sont réalisés en terre crue. La préservation de ce patrimoine constitue la sauvegarde d'un important patrimoine culturel. par contre, en Algérie, ce patrimoine souffre de dépréciation, de destruction ou de manque d'entretien et de conservation ce qui constitue une véritable entrave à la transmission du savoir-faire, à sa protection et à sa valorisation.

C'est dans cette problématique générale que nous insérons notre travail de magistère porté sur un habitat traditionnel en pisé, en essayant de comprendre la nature des résistances psychologiques notamment si elles sont liées aux propriétés intrinsèques du matériau pisé (durabilité, résistance etc.) ou bien à des facteurs exogènes.

2. Les objectifs de la recherche

Notre recherche vise à la compréhension des rapports existants entre les usagers et leurs habitations en pisé par l'analyse des perceptions.

Pour résumer les objectifs de ce travail, nous citons les points suivants :

- Rechercher les éléments qui contribuent à la perception des habitations en pisé
- Comprendre la nature de la dépréciation des constructions en pisé et des résistances psychologiques, si elles sont liées aux propriétés intrinsèques du matériau (durabilité, résistance, etc.) ou bien à des facteurs exogènes.
- privilégier la place de l'homme au centre des projets de revalorisation du patrimoine vernaculaire en abordant l'approche qui prend appui sur les besoins des utilisateurs, leurs ressentis, et leurs attentes.

3. Hypothèses de la recherche

Dans notre postulat, le rapport entre l'usager et son espace vécu est conditionné par complexe phénomène d'ordre psychologique.

Pour répondre à notre problématique, nous émettons les hypothèses suivantes :

- La perception des usagers sera liée à un ensemble d'éléments qui affectent cette perception.
- les propriétés du matériau pisé est un élément prégnant sur la base duquel les usagers évaluent leurs habitations.

4. Méthodologie

Notre recherche nécessite au préalable une compréhension des différentes notions théoriques relatives à l'architecture de terre notamment à la technique de pisé.

Une deuxième étape nous permettra de mieux comprendre la relation de l'individu à son environnement physique. Pour appréhender la perception de l'utilisateur, nous avons recouru aux méthodes d'enquête qui nous ont permis de faire sortir les différents éléments qui contribuent à affecter la perception des habitations traditionnelles en pisé. L'enquête exploratoire réalisée au début de la recherche, va permettre la reconnaissance du terrain d'investigation. L'enquête de diagnostic (Grawitz, 1990) par interview nous offre l'opportunité de se rapprocher des habitants pour vérifier nos hypothèses. Le diagnostic architectural est réalisé grâce à une enquête qui permet de relever de façon systématique les désordres pathologiques observés dans les habitations afin de tirer les éléments objectifs qui affectent la perception de l'espace vécu. L'analyse des résultats de l'enquête et du diagnostic architectural permet de faire la part entre la partie subjective relevée par l'interview et la partie objective observée.

Pour mieux appréhender la perception, nous avons choisi comme cas d'étude le village kabyle Ait Itchir dont les constructions traditionnelles en pisé représentent le produit original qui influence la perception de l'architecture de terre et par conséquent son évaluation.

5. Structure du mémoire

Afin de répondre à nos objectifs, nous avons structuré le mémoire en deux parties principales, scindées en 5 chapitres tel que nous voyons dans la figure 1,

Une première partie théorique, basée sur une recherche bibliographique et un état de l'art des connaissances, partagé en 4 chapitres. Cette partie a pour rôle l'assemblage et la compréhension des bases théoriques relatives à la présente recherche afin d'orienter la recherche vers nos objectifs.

Le premier, met en évidence les avantages de l'architecture de terre à la lumière des expériences menées à travers le monde pour la revalorisation de l'architecture de terre.

Dans le deuxième chapitre est présentée la technique de construction en terre crue : le pisé traditionnel et moderne.

Le troisième chapitre traite de la question de la durabilité et les différentes vulnérabilités du matériau pisé. Ainsi que les méthodes de stabilisations.

Le quatrième chapitre aborde la relation individu-environnement et la question de la perception spatiale, ceci nous permettra de connaître les différents indices pouvant nous servir à comprendre la perception des usagers à l'égard de leur habitations en pisé.

La deuxième partie du mémoire qui comprend un seul chapitre (chapitre 5) consistera à étudier le site qui a constitué notre cas d'étude et précisant la méthodologie basée sur l'enquête, montre l'élaboration de la fiche qui a permis la réalisation des investigations sur terrain et analyse les résultats de l'enquête.

Dans la conclusion générale nous exposons. Les conclusions que nous avons tirées de ce travail, les difficultés de validation de notre méthode et ses perspectives.

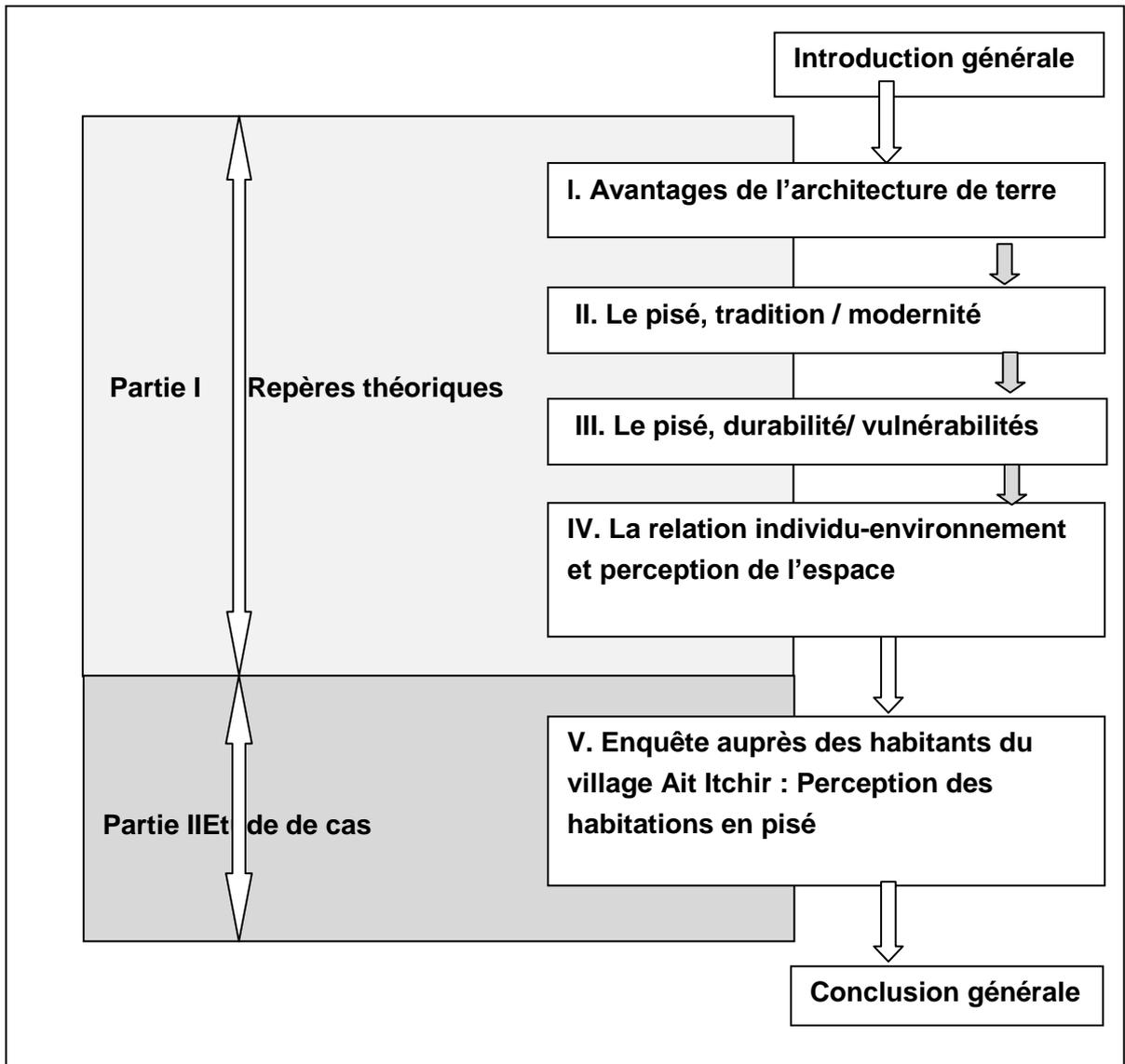


Figure 1 : Structure du mémoire

1. Chapitre I : Avantages de l'architecture de terre crue à la lumière des exemples

Introduction

La construction en terre crue recèle de nombreux avantages, grâce aux qualités inhérentes au matériau : recyclabilité, performance énergétique, résistance au feu, durabilité...Mais évidemment, il est nécessaire de respecter les règles essentielles de l'art de bâtir en terre crue afin de garantir les œuvres.

Par ailleurs, la diversité des procédés de l'architecture de terre et la simplicité de sa mise en œuvre, sont deux points forts qui lui procurent l'autonomie technologique et la diminution de l'impact tant financier qu'environnemental de la construction grâce aux économies d'énergie. Ces architectures sont ancrées dans la vision contemporaine de progrès.

Dans ce chapitre, nous nous proposons, de montrer, dans le contexte de la production architecturale actuelle, les avantages de l'architecture de terre crue à la lumière d'exemples réalisés dans le monde. Nous expliquerons le cas de l'Algérie.

1.1. Avantages de l'architecture de terre crue

Universalité et originalité des architectures en terre :l'architecture de terre recouvre une large aire géographique importante dans le monde (voir figure 2), l'homme a su, des siècles durant, adapter le matériau "terre" selon la région climatique et, géographique et ses conditions socioéconomiques (Dethier, 1986) .La synthèse de l'esprit et de la matière a produit des ensembles architecturaux d'une grande diversité. Ils sont issus d'un savoir-faire artisanal et de " l'heureuse alliance de l'imagination du peuple et des exigences du paysage, et s'exprimant à travers toutes sortes de formes et de décorations" (Fathy, 1970).

Selon Repiquet (2006),La construction en terre n'est pas réservée au pays du tiers monde, ni à l'architecture vernaculaire. La modestie du matériau n'a pas empêché son utilisation pour la construction des immeubles urbains. A la fin du XVIII e siècle, le Lyonnais François Cointeraux dessine des édifices publics, immeubles urbains, demeures bourgeoises adaptés au matériau terre. Ses ouvrages traduits dans différentes langues font passer la construction en terre dans le champ de l'architecture savante. (Repiquet, 2006).

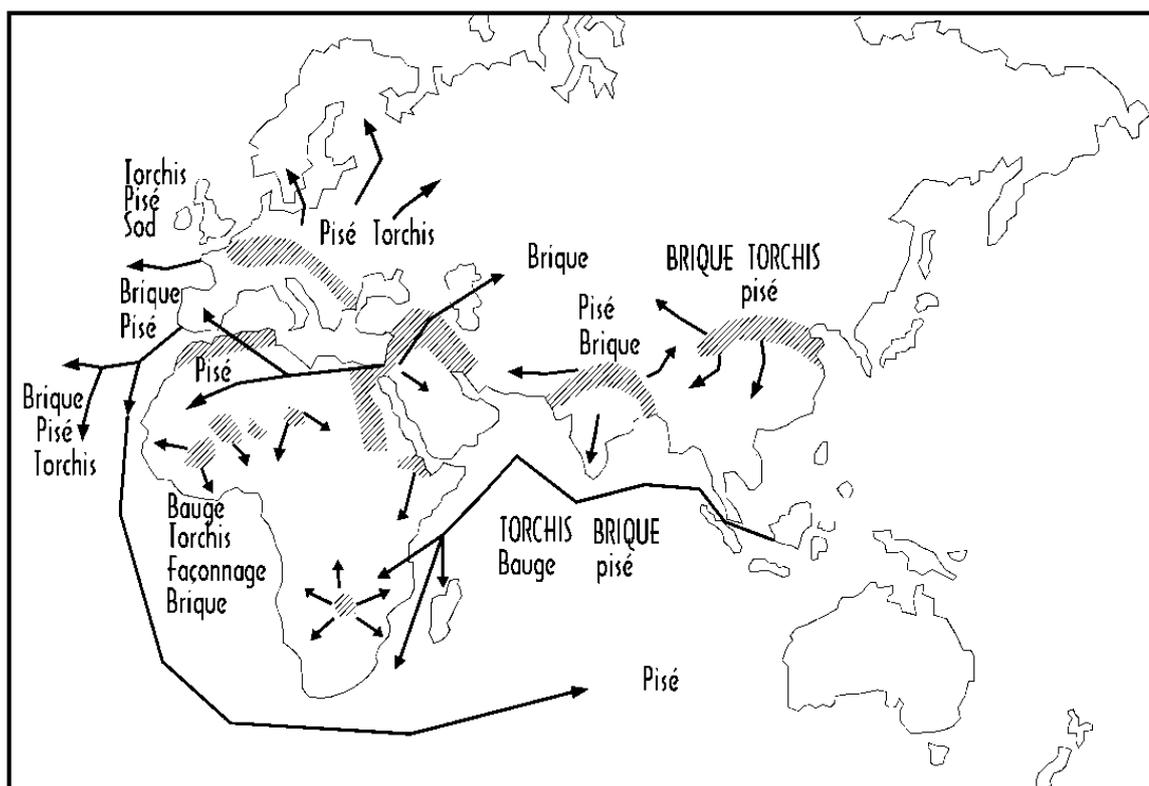


Figure 2 : Les régions de développement de l'architecture de terre (Houben, H et al, 2006)

Avantage économique : Etant un matériau local et naturel, le matériau terre est moins cher que les matériaux conventionnels, notamment dans les pays en développement où l'emploi manuel n'est pas coûteux. La fiabilité de la construction en terre a été démontrée non seulement dans les pays pauvres ou la plupart des peuples n'avaient pas assez de moyens pour construire des maisons "modernes" (MacLeod, 2002) mais elle a aussi une énorme potentialité dans les régions pauvres des pays riches (Barbossa et al, 2007) où la situation de logements des pauvres est encore très mauvaise.

A Tan Tan au Maroc, la réalisation de logements sociaux montre que l'utilisation d'un savoir-faire local appuyé d'une technologie adaptée dans la construction peut faire baisser sensiblement le prix des logements qui peut atteindre 50% du prix de réalisation avec des matériaux conventionnels (béton, brique cuite, aggloméré de ciment...). Les logements initialement prévus pour une surface couverte de 27m² ont pu ainsi passer à 41m² grâce à l'économie des constructions réalisées (CRATerre, 1987). Ces logements présentent une nette amélioration dans le niveau de confort offert aux habitants comparé à ce qui a été réalisé jusque-là, de par la surface habitable généreuse qu'il a été possible d'offrir (Ministère de l'habitat du Maroc, 1986).

En 1995, Aux îles Mayotte, le développement d'une filière terre crue a permis la mise en place d'une véritable industrie du bâtiment capable de répondre aux besoins en logement des populations à faibles revenus (CRATerre).

Dans notre pays, les études menées récemment au Centre National d'Etudes et de recherches Intégrées au Bâtiment (CNERIB), montrent que l'utilisation de briques en terre crue comme remplissage d'une ossature en béton armé peut réduire de 32% le coût global des habitations, comparées à l'utilisation des matériaux conventionnels. Ce résultat ouvre une perspective encore plus prometteuse, pour diminuer encore plus les coûts par l'utilisation de structures porteuses en terre crue(CNERIB, 2000).

- **Avantage environnemental** : Dans les pays industrialisés, bien que l'avantage économique du matériau terre soit aussi un point fort, il n'est pas un point favorable à rechercher. Pourtant, c'est l'avantage environnemental qui met le matériau terre dans la position d'un matériau "du futur" dans ces pays. Le premier avantage environnemental réside dans la très faible énergie grise consommée et la très faible pollution pendant la fabrication par rapport aux matériaux conventionnels.

Le deuxième avantage environnemental réside dans la phase de démolition des bâtiments. Avec un recyclage aisé, le matériau terre traditionnel (non-stabilisé) ne pose pas de problème de déchets comme dans le cas des matériaux conventionnels.

- **Avantages socio-économiques** : La revalorisation de l'architecture de terre ouvre de nouvelles issues pour le marché de l'emploi. Les procédés de productions des produits en terre crue sont très variés et vont du manuel artisanal jusqu'à l'industriel en passant par le semi mécanique, le mécanique et le semi industriel. Cette caractéristique ouvre un grand marché pour l'emploi qui assimile aussi bien une main d'œuvre peu qualifiée, que des cadres de haut niveau de formation. L'expérience de la filière terre à Mayotte, donne l'exemple de la capacité de ce marché pour l'emploi, avec les dix-neuf briqueteries villageoises installées sur l'île de Mayotte, quelque dix mille personnes vivent de cette filière terre (1/7ème de la population totale). Cette caractéristique permet à l'architecture de terre de s'adapter aux conditions des pays moins développés où il s'agit plus d'accroître les revenus des populations pauvres par l'ouverture de chantiers à moindre coût et à haute intensité de main d'œuvre(Kebaili, 2006).

La stabilisation des populations rurales est un autre effet indirect de la revalorisation de l'architecture de terre. La terre en tant que matériau localement produit et favorisant un développement économique local peut être un bon moyen de stabilisation des populations rurales tentées par la migration vers les grandes villes à cause de la pauvreté. Le cas des îles Mayotte est un bon exemple illustrant cet aspect. Les recherches pour les solutions les mieux adaptées à l'amélioration de l'habitat rural se sont orientées vers une architecture de terre qui, bien diffusée géographiquement, avait permis d'équilibrer les migrations vers les villes (Ministère de l'habitat du Maroc, 1986)

- **Diversité d'application et de procédés constructifs** : L'une des caractéristiques principales des constructions en terre est la diversité de ses techniques de mise en œuvre, qui traduisent l'identité des lieux ainsi que leurs cultures. Elles sont globalement répertoriées selon douze procédés, classés en trois grandes familles(Jeannet et al , 1997), à savoir :

- les murs appareillés (briques de terre crue, adobe) ;

d'atterrissages, etc. (CRATerre, 1995). Elle peut offrir toute une gamme de produits architecturaux; allant du logement social collectif à l'habitat de haut standing.

1.2. Description et caractérisation des principales techniques constructives de la terre crue

De l'Amérique latine jusqu'en Chine, le matériau terre et l'architecture en terre sont représentés sous différentes formes, avec différentes techniques de construction et de fabrication (Doat, P et al, 1983) Parmi les techniques les plus connues, on cite : le pisé, l'adobe, (ou thob) les blocs de terre comprimée (BTC), les blocs de terre stabilisée (BTS), la terre paille et le torchis. Elles font l'objet actuellement d'un développement technologique tant sur le plan de la maîtrise et de l'amélioration des performances que sur le processus de production.

Tableau 1 : Les différentes techniques de construction en terre (CRATerre, 1995).

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

a. 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 8 cm (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 pisoir en bois.



Figure 4 : Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes (Bui.Q.B, 2008)

Selon Doat, le pisé est le mode de construction en terre le plus pur et le plus direct. Cette technique de construction existe traditionnellement partout dans le monde. Depuis la fin du XVIIIème siècle, une série de publications, dont les plus connues sont celles de François Cointereaux, ont fait connaître et diffuser cette technique (Doat, P et al, 1983)

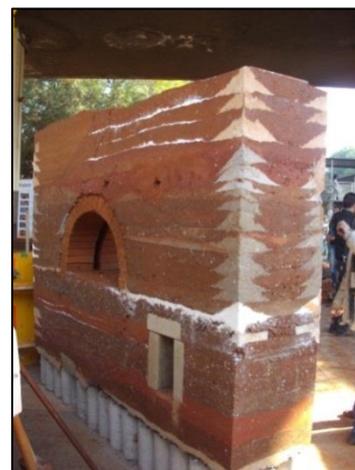


Figure 5: murs en pisé (S.Salmi.EPAU.Nov 2012)¹

b. 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 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

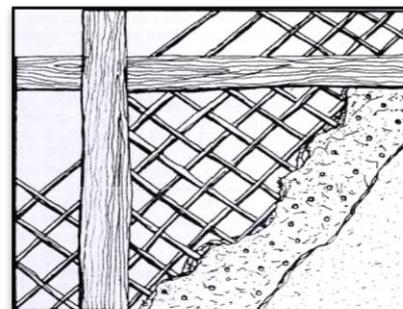


Figure 6 : Mur mixte en torchis (Jeannet et al , 1997)

¹ A l'occasion du 1^{er} festival de la promotion des architectures de terre Archi-Terre

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.

c. 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 : A gauche : des adobes au séchage sous le soleil. A droite : une maçonnerie en adobes.
(Pignal, 2005)

d. 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 (de 6 à 8 % en masse sec, le reste est composé de terre crue) (Doat, P et al, 1983). Le mélange de terre (avec stabilisant) est moulé puis compacté à l'aide d'une presse mécanique ou manuelle. La terre utilisée est plus proche de la terre à pisé que de la terre à adobe, elle est moins argileuse et plus sableuse.



Figure 8 : une maison construite en BTC en Rhône-Alpes
(Source : CRATerre)

e. 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).

Synthèse

Par sa diversité d'application et ses avantages environnementaux, socio-économiques et techniques, l'architecture de terre crue semble être une alternative prometteuse de progrès pour le secteur du bâtiment, au 21^{ème} siècle. Dans la partie qui suit, nous allons voir deux exemples de projets de revalorisation de l'architecture de terre crue, l'un dans un pays développé et l'autre en Algérie.

1.3. La revalorisation de l'architecture de terre, à la lumière des exemples

Partout dans le monde, les nouvelles techniques de construction, développées avant la deuxième guerre, le recours au calcul des structures et l'application de réglementation en faveur des techniques contemporaines, ont consacré la disparition des techniques locales et traditionnelles dont celles de la terre crue (Coignet, J & L, 2003). Les techniques de la construction en terre ayant montré leur fiabilité, pour ses qualités et afin de mieux profiter des avantages de l'architecture de terre, plusieurs pays ont lancé des programmes de revalorisation de cet art de bâtir. D'anciennes expériences telle que la réalisation du village

de Gournah en Egypte dans les années quarante du siècle passé, réalisé par l'éminent architecte égyptien H. Fathy était une illustration réussie des capacités techniques et formelles de l'architecture de terre (Fathy, 1970).

Dans cette partie, nous allons voir deux expériences de revalorisation relatives à l'architecture de terre, la première est celle du « Domaine de la terre » à l'Isle d'Abeau en France, la deuxième est celle du projet pilote Mustapha Ben Brahim à Sidi-Bel-Abbès en Algérie.

1.3.1. 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 parcelle ²

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.

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.

²Encyclopédie du bâtiment, p 15-2135-3



Figure 9 : un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères
(La revue durable, 2006)

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)

³Encyclopédie du bâtiment, p 15-2135-3

1.3.2. 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. Mustafa Ben Brahim près de Sidi-Bel-abbès devait être une opération pilote de construction en terre pour les mille villages agricoles lancés en 1970.

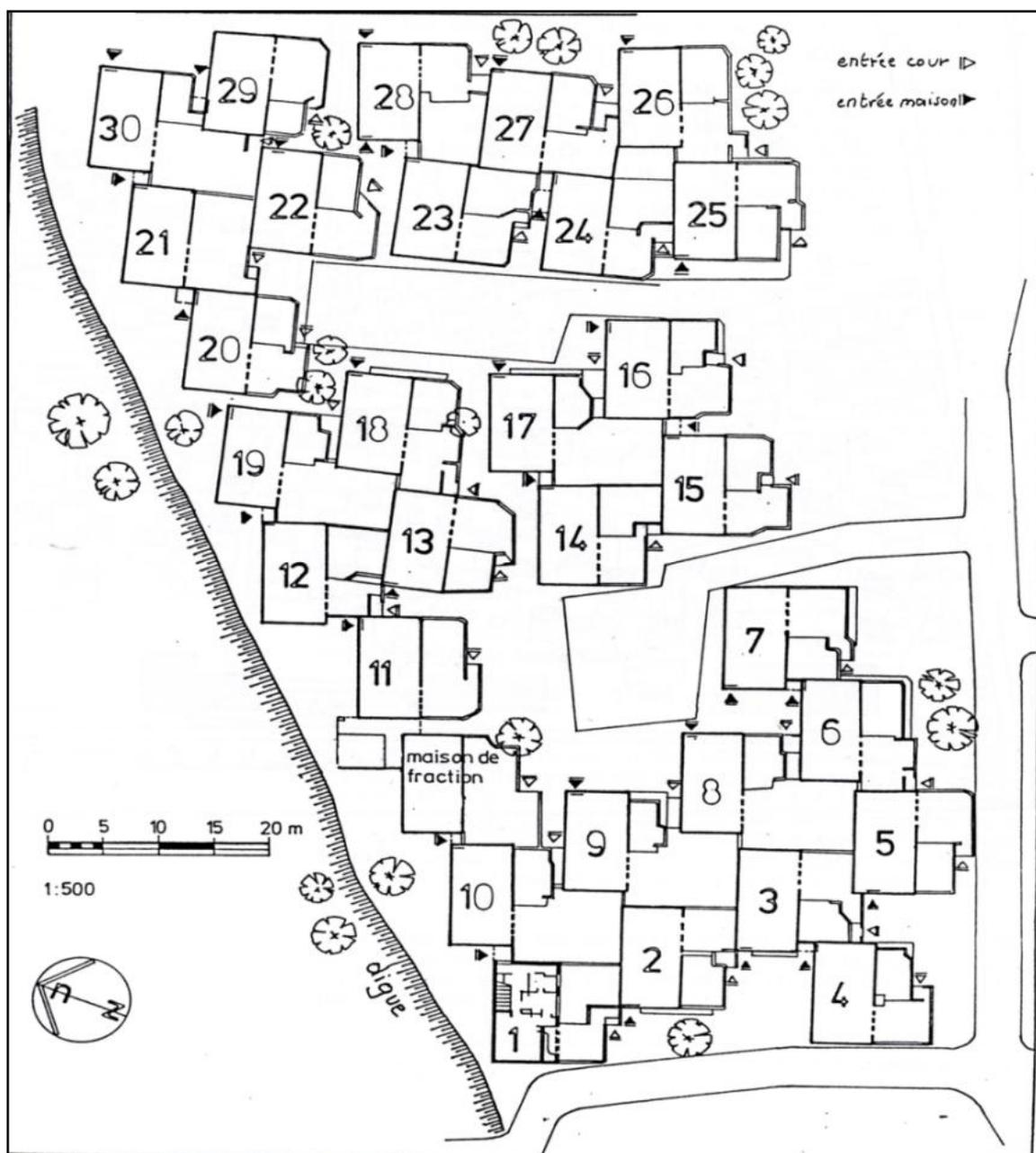


Figure 10 : Plan de masse des maisons en pisé de Mostafa Ben Brahim (Odul, 1983)

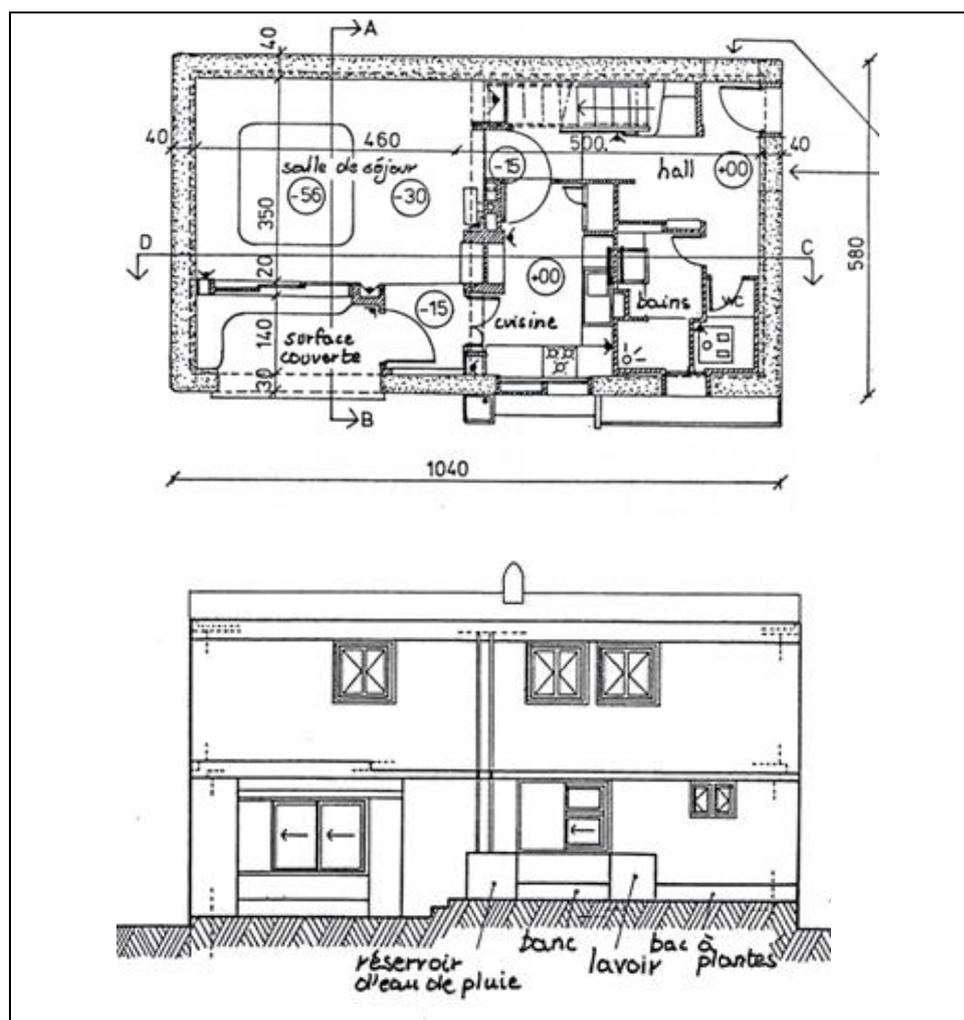


Figure 11 Plan et façade d'une habitation type au village Mustafa Ben Brahim(Odul, 1983)

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 crue⁴.

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 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.

⁴ Encyclopédie du bâtiment

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.

1.4. Actualité de l'architecture de terre en Algérie

Aujourd'hui les attitudes ont changé, malgré l'échec de l'opération de Mustafa Ben Brahim (Odul, 1983). En effet le BTS est un matériau reconnu officiellement et le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ces recherches sur l'architecture de terre depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le Tableau 2.

Tableau 2 : Les opérations de construction en terre en Algérie (source CNERIB)⁵

1969	la réalisation de 136 logements en pisé au village agricole de Bouhlilet à Batna.
1971	une équipe franco-belge réalise à Zéralda un groupe expérimental d'habitations rurales (Dethier, 1986).
1972	Habitations à Zéralda en pisé stabilisé (banché coulé) (Doat, P et al, 1983)
1973	30 des 300 logements du village de Mustafa Ben Brahim près de Sidi Bel Abbés, sont réalisés en pisé.
1975	le village de Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissante. (Houben, H et al, 2006)
1976	100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en thoub.
1980	120 logements du village agricole de Madher à Boussaâda sont réalisés en BTS.
1981	40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en blocs de terre comprimée.
1984	un prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset et un prototype fut réalisé au CNERIB en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar et 10 à Reggane en blocs de terre comprimée.
1994	44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1998	un prototype en pisé fut réalisé au siège du CNERIB à Souidania, Alger

⁵ Cité dans Assam Baloul, N (2008), Conservation et valorisation du patrimoine ksourien pour un développement durable de la région du twat gourara : cas du ksar de tmassekht.



Figure 12 : logements en B.T.C. à Tamanrasset
(Le CNERIB)



Figure 14: Premières assises du prototype de
Soudania1999 (Le CNERIB)



Figure 13 : Prototype achevé
(Le CNERIB)



Figure 15 : maison en pisé au village Mather à Boussada
(Kebaili, 2006)

Sur le plan des pratiques traditionnelles, la construction en terre est pratiquée dans de nombreuses régions du pays. Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production (CNERIB, 2000). Jusque-là nous n'avons pas encore rencontré d'études spécifiques sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul (Odul, 1983) ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

Sur le plan réglementaire, l'Algérie ne dispose pas encore d'une réglementation propre à la construction en terre mais elle semble avoir établi ses bases grâce aux recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée approuvées en 1987. En 1988 le Centre Nationale d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a publié un document intitulé "Béton de terre stabilisée" (Arrêté du 05/12/1987). Ce document est un ensemble de recommandations qui concernent uniquement le BTS. Cependant sa mise en application est presque inexistante, en milieu urbain ou rural. Nous rappelons ici que les projets en milieu rural, ne sont pas toujours soumis à la procédure de recours à l'architecte pour la préparation du dossier d'exécution (Ministère de l'habitat, 1992).

Ce document constitue une référence pour la rédaction du cahier des charges, composant essentiel du dossier d'appel d'offre que doit préparer l'administration comme première procédure de passation de marché public. Il permet aussi aux services de contrôle et de suivi de superviser la réalisation et juger de la conformité des produits et des réalisations (Sabri, Aoudia, & Lalle, 2000).

Depuis sa création en 1982 et pour remplir sa mission d'études et de recherche intégrée du bâtiment (Décret 87-234 du 03/11/87,) le CNERIB s'est lancé sur l'étude des matériaux locaux, et l'habitat économique (Olivier, 1988). Actuellement et dans le cadre de coopération scientifique et technique avec ses partenaires étrangers, le centre s'est orienté vers la mise en œuvre de technologies appropriées en matériaux locaux qui vise à "développer et à élargir les applications des matériaux locaux, affiner l'application de ces matériaux aux contextes physiques sociaux et économiques et enfin, définir et adapter les méthodes de production de ces matériaux suivant les contextes.

Ces objectifs seront atteints à travers plusieurs actions entre autres, la formation à tous les niveaux et la divulgation de l'information" (CNERIB, 1992).

Jusqu'à présent deux axes de recherche ont été développés au CNERIB dans le but de garantir les matériaux et les structures en terre;

- La connaissance du matériau;
- L'utilisation de la terre dans la construction (Olivier, 1988).

Pour le premier axe, les recherches ont concerné plus le BTS et en deuxième lieu le pisé pour leur développement et leur modernisation. Ces recherches ne concernent pas les autres techniques connus et utilisées en Algérie. Pour le second axe, les études architecturales ne sont pas encore menées, ils concernent les formes architecturales générales afin de proposer les solutions compatibles avec les modes de vie des utilisateurs.

Les solutions techniques pour les détails architecturaux et enfin la résistance et la tenue dans le temps des structures en terre(Olivier, 1988).

Sur le plan de l'enseignement et de la recherche, l'architecture de terre ne jouissait d'aucun intérêt particulier, néanmoins, elle connaît ces dernières années un regain d'intérêt, en effet, dans le cadre de coopération scientifique avec des partenaires étrangers, et sous l'égide du ministère de la culture, l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme (EPAU) d'Alger a organisé, en 2010 et en 2012 des journées d'études portant sur la promotion des architectures de terre.



*Figure 16 : les ateliers de l'architecture de terre (S.Salmi. l'EPAU. Nov. 2012)
(à l'occasion du 1^{er} festival culturel international de promotion des
architectures de terre)*

Conclusion

Les expériences menées à travers le monde ont montré que les avancées techniques réalisées dans le domaine de la construction en terre ont permis d'atteindre des niveaux technologiques qui rivalisent avec les procédés de productions des matériaux les plus élaborés (Houben, H et al, 2006). Aujourd'hui, il n'est plus question d'évoquer les obstacles d'ordre techniques liés au matériau ou bien aux procédés de productions, pour s'opposer aux projets de revalorisation de l'architecture de terre. Cependant, l'architecture de terre pose le problème de la perte du savoir-faire, de "*ces règles qui sont négligées, oubliées ou encore mal interprétées et donc très souvent mal appliquées*" (Houben & Doat, 1986), de nouvelles techniques de construction se sont épanouies, une modification en profondeur des structures économiques dans lesquelles s'exerce l'acte de bâtir s'est amorcé. Les nouveaux matériaux sont manufacturés et homogènes, les techniques constructives sont réglementées, ce qui a consacré les nouveaux savoir-faire et amorcé la disparition de la majorité des mises en œuvre traditionnelles locales dont celles de la terre crue (Coignet, J & L, 2003).

Pour le cas de l'Algérie, les actions de revalorisation de l'architecture de terre sont confrontées à de nombreux obstacles, d'ordre psychologique, économique, et réglementaire. En effet, notre pays a manifesté très tôt son intérêt pour la revalorisation de l'architecture de terre mais l'échec des premières opérations qui n'ont pas réussi à surmonter l'obstacle psychologique a limité leurs effets. Les programmes de développement ne sont pas tentés par les avantages que représente l'architecture de terre.

Néanmoins, l'architecture de terre connaît un regain d'intérêt dans le cadre de la recherche scientifique, et les journées d'études organisées par l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger, sous l'égide du ministère de la culture est une bonne initiative qui ouvre de nouvelles perspectives pour la revalorisation de ces architectures jusque-là négligées et oubliées.

Dans le chapitre suivant nous allons explorer la technique de pisé. et voir les avantages de ce procédé de construction en terre crue dans le cadre de développement durable.

2. Chapitre II : Le pisé : Tradition/Modernité

Introduction

Le pisé est un matériau qui répond à la plupart des enjeux de développement durable, il est choisi comme objet de recherche de ce mémoire pour plusieurs raisons :

- Premièrement, à part les avantages communs du matériau terre crue abordés précédemment, le pisé, grâce à sa grande épaisseur, nous offre une grande inertie thermique et une régulation de l'humidité intérieur de la maison, il permet une nette diminution de l'impact tant financier qu'environnemental de la construction grâce aux économies d'énergie (voir annexe A). Le pisé offre aussi une grande résistance aux incendies.
- Deuxièmement, les connaissances accumulées au fil des ans sur la culture du pisé ont été plus récemment remises en perspective avec les évolutions modernes et contemporaines, ayant abouti à de nouvelles techniques et des modes de mise en œuvre sur la conception et la construction des ouvrages à l'exemple de la préfabrication d'éléments de murs en pisé en atelier ou sur chantier, ou encore vers de nouveaux pisé de terre « coulé », une tendance qui préfigure certainement un nouvel avenir « viable » de la technique.
- Troisièmement, l'existence d'un patrimoine local en pisé complètement ignoré, le village traditionnel kabyle "Ait Itchir" que nous allons présenter dans le cinquième chapitre.

Dans ce chapitre, nous explorons la technique du pisé, Ensuite nous présentons l'état de la recherche sur les performances du pisé dans le cadre du développement durable.

1.1. Présentation de la technique du pisé

Comme nous l'avons vu ci-dessus, La définition la plus connue et la plus souvent citée est celle de F. Cointeraux dans "Ecole d'architecture rurale et économique, Paris 1790" (Fuller et al, 2008) : *"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 bourre. 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).

Ainsi battue elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée aux hauteurs nécessaires pour une habitation". (Cointeraux, 2002).

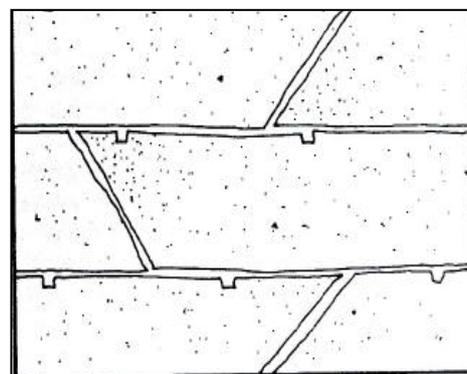


Figure 17 : mur monolithique en pise (Jeannet et al , 1997)

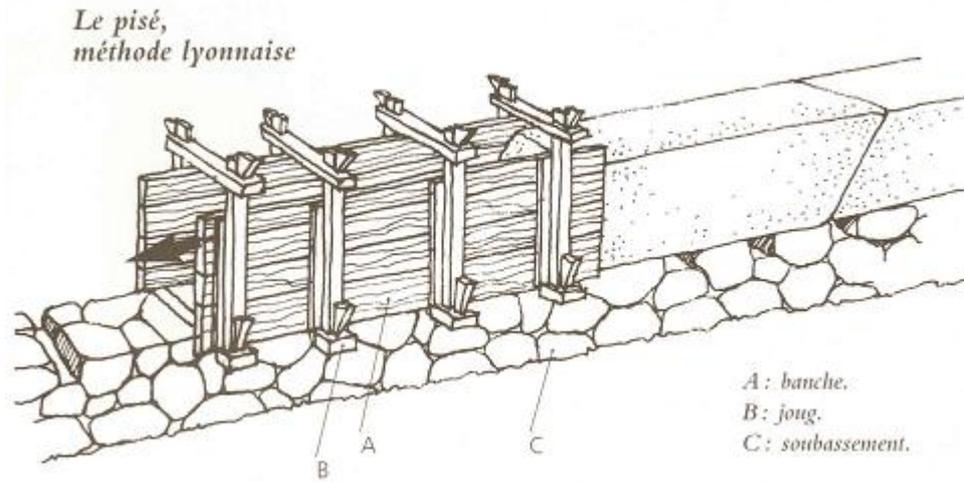
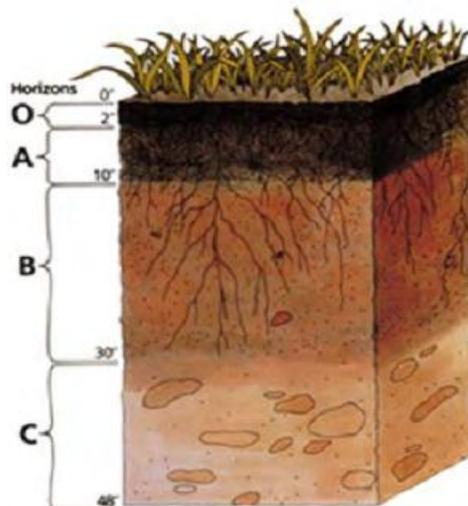


Figure 18 : mise en place de banches à pisé (Pignal, 2005)

- **Terre à pisé** : les caractéristiques d'une terre à pisé sont particulières (Association villes et pays d'arts et d'histoire, 2008) Les meilleures terres sont composées de

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



O: Litière
A: Humus, ou terre végétale
B: Terre utilisée pour le pisé
C: Roche mère



Figure 19: Les différents horizons d'un profil de sol

Si la terre est trop argileuse, elle ne se compacte pas mais se déplace. Si elle est trop humide, elle va onduler.

La terre est stockée en tas et bâchée pour éviter l'humidité en cas de pluies, ou encore le dessèchement en cas de vent. La terre est extraite par mottes, cassées, elle est ensuite emportée sur le lieu de chantier.

Il faut « frasser » le terre, c'est-à-dire la répartir en fines particules, aération et oxygénation de l'argile, expansion et homogénéisation).

En principe on utilise la terre à pisé sans ajouts, mais on peut la mouiller à l'arrosoir avec comme risque de la voir craqueler au séchage. Si la terre est trop argileuse ou trop mouillée on peut lui ajouter un peu de chaux. Ce rajout doit être fait avec prudence, le pisé risquant par réaction chimique de se fendiller.

La terre propice à une bonne construction en pisé ne peut être prélevée que de mai à fin août. Exceptionnellement jusqu'à fin octobre.

Pour estimer la qualité de la terre on peut effectuer le test de la poignée : on serre la terre dans samain pour vérifier son degré d'humidité. La main ouverte doit laisser une boule qui se tienne et qui porte l'empreinte des doigts sans coller à la main ni être émiettée.

- **Soubassement et toiture** : Les soubassements des constructions en terre sont indispensables à la protection des ouvrages. L'observation des constructions traditionnelles permet de relever l'importance de cet élément, constituant les "bonnes bottes" qui protègent les murs de terre des remontés capillaires, de l'infiltration des eaux stagnantes et de l'érosion des eaux de rejaillissement.

La toiture des maisons en terre est un élément indispensable à leur durabilité dans le temps. L'absence d'un "bon chapeau" est tout à fait néfaste et engage des dégradations sur les constructions en terre. Le débord de la toiture doit être assez long pour protéger le mur.



Figure 20 : une maison en pisé au nord Isère montrant le soubassement en maçonnerie et la toiture débordante (CRATerre)

Le module de base : La Figure 21 qui suit nous montre le module de base dans les constructions en pisé, où le plus petit assemblage peut constituer un espace.

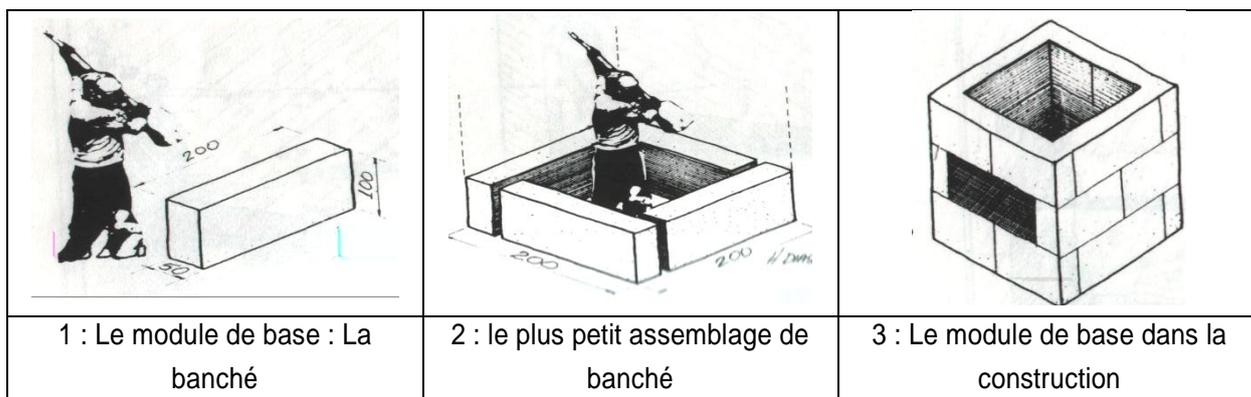


Figure 21 : le module de base pour le pisé (CRATerre)

- **Enduit sur pisé :** On trouve encore facilement des pisés anciens en bon état d'origine, laissé bruts de décoffrage, mais la réhabilitation d'un bâtiment en pisé se conclut souvent par la pose d'un enduit pour des raisons esthétiques (uniformisation de l'aspect), de confort (l'enduit a aussi une fonction d'isolant extérieur) ou de durabilité (l'enduit qui bouche les fissures réduit la prise au gel et l'érosion due aux intempéries) (Pignal, 2005). Un enduit sur pisé doit respecter toutes les règles de mise en œuvre. Il est posé à la truelle en deux ou trois couches, avec un temps de prise suffisant entre les différentes couches. L'enduit ne doit être ni trop épais ni trop lourd, en raison des risques de décollement que cela poserait. L'enduit est lié à la chaux faiblement hydraulique (Pignal, 2005).

- **Les ouvertures :** Selon le système constructif utilisé, diverses ouvertures peuvent être adoptées dans un ouvrage en pisé (voir Figure 22). Elles peuvent apparaître sous forme de percement dans une structure monolithique ou bien sous forme de remplissage dans une structure auto stable ou bien aussi, sous forme de remplacement d'un pan de mur dans une structure à ossature poteaux poutres ou à trumeaux.

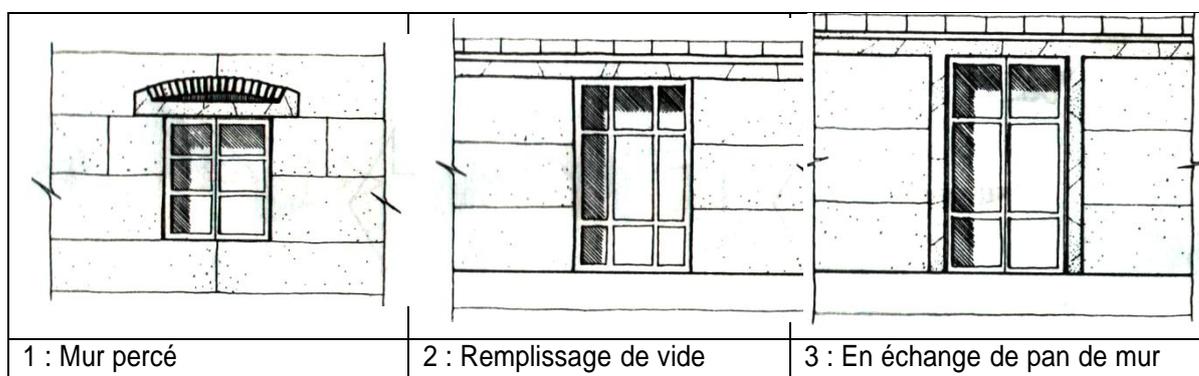


Figure 22 : Les possibilités de percement pour un ouvrage en pisé (CRATerre)

1.2. Le pisé traditionnel et le pisé moderne

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, hourdé au mortier de chaux. Cette maçonnerie a environ 50 cm de haut (Pignal, 2005). Le soubassement protège alors le pisé des projections d'eau et des remontées d'humidité par capillarité.



Figure 23 : *Château Chabet, XVIIIe siècle. Vue générale*
(Guibaud, 2005)

Dans la fabrication du pisé traditionnel, des cordons de mortier de chaux (les liens ou joints) peuvent être appliqués en fond de banche, sur les côtés (ils ne traversent pas le mur), afin de renforcer la ligne de jointure horizontale entre banches, zone plus difficile à tasser. Une fois la banchée terminée, on peut la décoffrer immédiatement et attaquer la banchée voisine. Les murs sont montés par assises successives ; pour en améliorer la cohésion, le maçon doit prendre soin de « croiser » ses coups de putois, en faisant tourner l'outil entre chaque coup, et de croiser les banches, c'est-à-dire d'adopter un sens de construction opposé d'une assise du mur à l'autre.

C'est vers le milieu du XVIIIe siècle que les joints de chaux deviennent systématiques et le raccord entre les banchées s'incline jusqu'à atteindre plus ou moins 45° cette technique, combinée au croisement des assises (les raccords de deux assises superposés sont inclinés en sens contraire), éviterait la fissuration du mur. L'observation sur le terrain montre que, dans la réalité, un même mur peut présenter des raccords verticaux et inclinés, cela étant certainement dû à la plus grande difficulté qu'il y avait à faire les seconds (Pignal, 2005).

Les bâtiments en pisé traditionnel ne dépassent pas généralement trois niveaux, Cependant, nous pouvons citer un cas exceptionnel d'un bâtiment de 6 étages construit en 1820 en Allemagne (Figure 24) . Ses murs de sous-sol et ses soubassements sont en maçonnerie de pierres. Les murs en pisé sont enduits et il est difficile de reconnaître le pisé. L'épaisseur des murs en pisé diminue suivant l'élévation (Bui.Q.B, 2008).

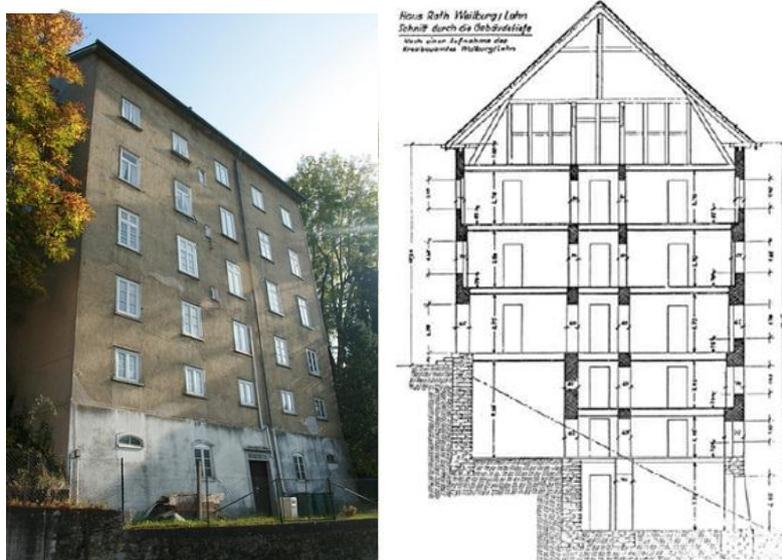


Figure 24 : Un bâtiment de 6 étages en pisé construit en 1820 en Allemagne. (Walker, P et al, 2005)

Depuis les années 1980, le pisé redevient un mode de construction dans le monde. Ces pisés dit "modernes" ne reproduisent pas à l'identique les procédés de construction anciens. La terre est mise en œuvre avec les apports de la technologie moderne pour aboutir à des logements ayant au moins le standard du confort actuel.



Figure 25 : Maison en pisé moderne construite au cours des années 1980 en région Rhône- Alpes (Bui.Q.B, 2008)

- **Compactage par une dame pneumatique** : La dame manuelle en bois dans le cas du pisé traditionnel est remplacée par une dame pneumatique plus puissante qui permet d'augmenter la rapidité de la fabrication et la densité du pisé. La dame en

général est en métal sous forme circulaire mais elle peut être modifiée par l'ajout d'une plaque de bois carré suivant les besoins de l'artisan.



Figure 26 : Les dames pneumatiques en métal. A droite : la dame est modifiée en ajoutant une plaque carré en bois (Galerie Eureka & CRATerre, 2009)

- **Mise en œuvre de coffrages du pisé moderne :** Les coffrages actuels sont plus larges que les coffrages traditionnels pour la rapidité de la fabrication sur chantier. Ils sont aussi plus rigides pour supporter le dammage plus fort de la damme pneumatique (actuellement ils sont en général., en métal).



Figure 27 : Coffrage métallique du pisé moderne sur un chantier en France. Photo : N. Meunier (Bui.Q.B, 2008)

- **Préfabrication du pisé moderne :** La préfabrication s'est aussi développée. Les figures Figure 28, Figure 29, présentent la fabrication des pisés fabriqués en usine, leur transport et mise en œuvre.



Figure 28 : Prêfabrication des pisé dans une usine, en Autriche (Rauch, 2007)



Figure 29 : Transport et mise en œuvre des éléments préfabriqués (Rauch, 2007)

2.2. Développement durable et caractéristiques avantageuses de la construction en pisé

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.

- **Faible consommation énergétique** : Avec les constructions en pisé la faible consommation d'énergie pendant la phase de construction est indiscutable. On peut citer ici l'étude de Morel et al. (Mesbah, A et al, 2001). Les auteurs ont fait une étude de la consommation d'énergie pendant la construction des maisons à Grasse, au Sud de la France. Une comparaison de la consommation d'énergie utilisée pendant la construction entre les matériaux locaux (Maçonnerie en pierre + mortier de terre, et pisé et des maisons en béton a été faite. Les résultats de l'étude ont montré une consommation d'énergie beaucoup plus faible du fait de l'utilisation des matériaux locaux (Tableau 3 : **résultats de la consommation d'énergie en construction (en giga joule) des maisons en pierres, en pisé et en béton**

	Maçonnerie en pierre	pisé	béton
--	----------------------	------	-------

Energie totale (G.J)	97	70	239
Transport (t.km)	1390	1041	6707

Cependant, la question de la capacité énergétique du pisé dans la phase d'habitation est encore très ouverte jusqu'à aujourd'hui. Plusieurs études se sont déroulées et nous ont donné des réponses diverses : Dans l'étude de Paul et Taylor (2008), un bâtiment de bureaux en pisé de 30 cm d'épaisseur ; L'énergie consommée de ce bâtiment est comparée avec celle des deux autres bâtiments "conventionnels". Le résultat présenté dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** a montré une faible consommation énergétique du bâtiment en pisé par rapport aux bâtiments conventionnels. Le résultat de cette étude nous donne une vue positive de bonne performance énergétique possible des bâtiments en pisé pendant la phase d'occupation.

Pourtant, il faut noter que la performance énergétique d'un bâtiment dans la phase d'occupation ne dépend pas seulement du matériau de l'enveloppe mais aussi forcément de la conception du bâtiment.

Tableau 4 : Résultats de Paul et Taylor de la consommation d'énergie (en méga joul/mètre carré) en été, d'un bâtiment "vert" (en pisé) et des bâtiments conventionnels en Australie

Source d'énergie	Bâtiment conventionnels	Bâtiment verts
Electricité	321	35
Gaz naturel	101	0
total	422	35

- **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.

- **Confort d'habitation en pisé :** Selon Pignal (2005), dans les maisons en pisé traditionnels en France, hiver comme été, les amplitudes thermiques entre le jour et la nuit sont très faibles, du fait de l'épaisseur du mur, généralement 50cm. Le jour, la chaleur rayonnante est accumulée. La nuit, cette chaleur est restituée dans l'habitation. Ces caractéristiques prédisposent le pisé à être utilisé dans une architecture bioclimatique. Reardon a une vue très positive du confort thermique du pisé, présentée dans la

- Figure 30

-).

Tableau 3 : résultats de la consommation d'énergie en construction (en giga joule) des maisons en pierres, en pisé et en béton (Mesbah, A et al, 2001)

	Maçonnerie en pierre	pisé	béton
Energie totale (G.J)	97	70	239
Transport (t.km)	1390	1041	6707

Cependant, la question de la capacité énergétique du pisé dans la phase d'habitation est encore très ouverte jusqu'à aujourd'hui. Plusieurs études se sont déroulées et nous ont donné des réponses diverses : Dans l'étude de Paul et Taylor (2008), un bâtiment de bureaux en pisé de 30 cm d'épaisseur ; L'énergie consommée de ce bâtiment est comparée avec celle des deux autres bâtiments "conventionnels". Le résultat présenté dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** a montré une faible consommation énergétique du bâtiment en pisé par rapport aux bâtiments conventionnels. Le résultat de cette étude nous donne une vue positive de bonne performance énergétique possible des bâtiments en pisé pendant la phase d'occupation. (Paul, W.L et al, 2008)

Pourtant, il faut noter que la performance énergétique d'un bâtiment dans la phase d'occupation ne dépend pas seulement du matériau de l'enveloppe mais aussi forcément de la conception du bâtiment (Mortensen, 2008).

Tableau 4 : Résultats de Paul et Taylor de la consommation d'énergie (en méga joule/mètre carré) en été, d'un bâtiment "vert" (en pisé) et des bâtiments conventionnels en Australie (Paul, W.L et al, 2008)

Source d'énergie	Bâtiment conventionnels	Bâtiment verts
Electricité	321	35
Gaz naturel	101	0
total	422	35

- **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.

- **Confort d'habitation en pisé :** Selon Pignal (2005), dans les maisons en pisé traditionnels en France, hiver comme été, les amplitudes thermiques entre le jour et la nuit sont très faibles, du fait de l'épaisseur du mur, généralement 50cm (Pignal, 2005) (Meunier, 2003). Le jour, la chaleur rayonnante est accumulée. La nuit, cette chaleur est restituée dans l'habitation. Ces caractéristiques prédisposent le pisé à être utilisé dans une architecture bioclimatique. Reardon a une vue très positive du confort thermique du pisé, présentée dans la

- Figure 30

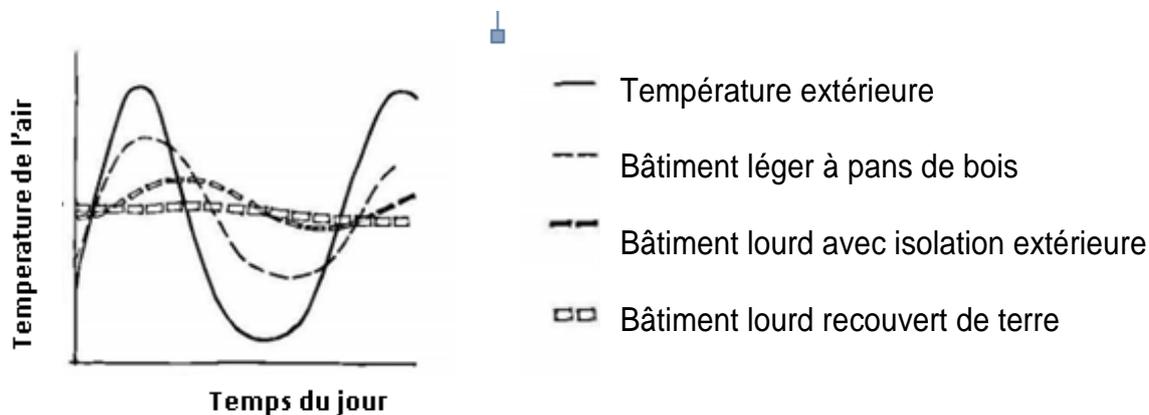


Figure 30 : Principe de l'influence de la masse thermique dans le confort thermique du bâtiment (Reardon, C et al)

Aujourd'hui et avec la pression accrue du problème global d'énergie, le pisé est redécouvert dans les pays industrialisés par sa notoriété d'un bon confort d'été. A partir des années 1980, des constructions en terre en Australie (en pisé et BTC) ont offert un très bon confort thermique qui surprenait les constructeurs et les habitants australiens.(Mortensen, 2008) Les recherches scientifiques actuelles sur le confort d'habitation du pisé peuvent être Groupées en deux directions principales.(Bui.Q.B, 2008).

- Pour la première, il s'agit de recherches en laboratoire : Des essais sur des échantillons fabriqués en laboratoire sont réalisés pour déterminer des caractéristiques spécifiques du pisé.
- La deuxième se compose des recherches sur le confort général en faisant des enquêtes sur des bâtiments réels, soit par des modèles et des calculs, soit par des opinions de la satisfaction des occupants des bâtiments. A partir des enquêtes ; on peut aussi évaluer la performance thermique des maisons réelles en pisé en prenant en compte les factures d'électricité et de gaz.

Nous abordons ci-après, quelques recherches sur le confort général ainsi que sur les propriétés thermiques du pisé.CSIRO⁶ (a fait une étude de la performance thermique du pisé en s'appuyant sur la résistance thermique(CSIRO, 2000).

Les échantillons étaient des murs de 1m de longueur, 1m de largeur et 20cm d'épaisseur, la masse de chaque mur était de plus de 400kg. Des mesures ont été réalisées sur un dispositif du CSIRO d'un m² de flux de chaleur. Les résultats montraient que la plupart des

⁶ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

valeurs de R^7 du pisé en Australie sont inférieures à 0,4, qui n'est pas une valeur acceptable dans les règlements australiens. Donc, suivant le résultat de cette étude, les pisés en Australie présentent une mauvaise résistance thermique.

Les auteurs de cette étude ont suggéré que la masse thermique du pisé pouvait compenser la faible résistance thermique. Cela pour le cas où le climat est tempéré, où la période de froid est longue, ce sera la résistance thermique R qui détermine la capacité thermique des murs. Les auteurs ont proposé aussi la nécessité dans les règlements, de considérer encore d'autres facteurs (par exemple la masse thermique) pour évaluer la capacité thermique des murs.

Hall et Allinson ont fait aussi une étude sur la résistance thermique des pisés stabilisés à 6% de ciment (en poids). Ils ont trouvé que la résistance thermique du pisé change suivant la granulométrie de la terre utilisée et la teneur en eau du pisé. Une teneur en eau importante peut établir des "ponts thermiques" dans les pores du matériau.

Leurs résultats de la résistance thermique sur trois types de mur différents sont présentés dans le Tableau 5

Tableau 5 : Synthèse de la résistance thermique des études existantes (Hall & Allinson, 2008)

Etude	Type d'échantillon de pisé	R ($m^2 K/W$)
CSIRO	20 cm d'épaisseur	0,4
Hall et Allinson	30 cm d'épaisseur	0,48 - 0,54
-	40 cm d'épaisseur	0,58 - 0,66
	40 cm d'épaisseur, dont 5 cm d'isolation	2,91 - 2,97
Règlement (Australie)		$\geq 1,3$

Conclusion

Comme nous avons pu le voir dans ce chapitre, le pisé est une technique simple et sa mise en œuvre ne nécessite que peu de moyens.

La technique de pisé redevient une alternative crédible à la construction. Ce matériau n'appartient plus au passé, mais à l'avenir. Par ses propriétés techniques, il répond à la plus part des nouveaux enjeux de la construction au XXI^e siècle. En effet le pisé assure confort et santé durant toute la vie du bâtiment, même en cas d'incendie, il contribue à la diminution de l'impact environnemental du bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie, notamment en terme de maîtrise de l'énergie (Résistance thermique, faible énergie grise, bilan carbone, issu de ressources renouvelables, extraction respectueuse de l'environnement, recyclable et réutilisable, transport limité...).

⁷ Résistance thermique : la capacité d'un matériau à s'opposer au froids et au chaud est mesuré par sa résistance thermique est représenté par la lettre R et elle est exprimée en m^2 /W , plus la résistance thermique est élevé plus le matériau est isolant.

Depuis quelques années, de nombreuses études ont été faites sur la technique du pisé et ont permis de développer de nouvelles techniques de mise en œuvre et d'améliorer la performance technique pour répondre aux exigences actuelles de la construction.

C'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.

3. Chapitre III : Le pisé : Durabilité / Vulnérabilité

Introduction

Le pisé est un matériau durable, Les vestiges des grandes civilisations anciennes sont présents pour nous le prouver. Cependant, le plus grand inconvénient du matériau terre est sa sensibilité à l'eau. Quand on parle d'une construction en terre, ce problème est tout de suite posé. Le cas du pisé n'est pas une exception de ce constat. La présence de l'eau dans la structure du bâtiment présente une pathologie à laquelle il faudra faire très attention, car elle est le premier facteur qui nuit à la durabilité des ouvrages en terre.

Nous allons dans ce chapitre, regarder la bibliographie des essais actuels concernant la durabilité du matériau terre en général et le pisé en particulier. Nous exposons les différentes vulnérabilités, les causes des désordres, et les différentes solutions à ce problème à savoir, les procédés de stabilisation du pisé, et les techniques de renforcement des murs en pisé.

3.1. De la durabilité des constructions en terre, témoignage de l'histoire

Nous pouvons présenter ici un témoignage du XVIIIe siècle sur la solidité d'un édifice en pisé : *"Lorsque les murs en pisé sont bien faits, ils ne forment qu'une seule pièce, et lorsqu'ils sont revêtus à l'extérieur d'un bon enduit, ils peuvent durer des siècles. En 1764, je fus chargé de restaurer un ancien château dans le département de l'Ain, il était bâti en pisé depuis plus de 150 ans. Les murs avaient acquis une dureté et une consistance égales aux pierres tendres de moyenne qualité, telles que la pierre de St-Leu. On fut obligé, pour agrandir des ouvertures et faire de nouveaux percements, de servir de marteaux à pointe et à taillant, comme pour la pierre de taille".*(Rondelet, J, 2006)

Nous pouvons trouver encore, à travers le monde plusieurs ouvrages enterrés et en pisé traditionnel, qui ont été construits il y a des centaines d'années et qui se maintiennent à ce jour. Nous pouvons citer l'exemple du Temple d'Horyuji au Japon, (Figure 31) un patrimoine de l'UNESCO, âgé de 1300 ans. Une partie de ce temple a été construite en pisé non stabilisé et reste encore en bon état aujourd'hui (Djrbib & Hall, 2004),



Figure 31 : Le temple d' Horyuji au Japon (Djrbib & Hall, 2004),

Un autre célèbre exemple est le cas de la Grande Muraille de Chine (Figure 32). Cet ouvrage a été construit il y a 2000 ans avec du pisé, des pierres, des briques de terre cuite, du bois, ... selon le principe d'utilisation des matériaux locaux.



Figure 32 : La Grande Muraille de Chine.
Photo : R.Michau (Bui.Q.B, 2008)

Il faut savoir que la durabilité des constructions en pisé est conditionné par une bonne mise en œuvre et des règles très strictes qui demandent un savoir-faire propre. Mal conçues, les constructions peuvent être l'objet de graves désordres, qu'on peut localiser :

- A la base du mur à cause des remontées capillaires ;
- Au haut du mur à cause du rejaillissement ou du ruissellement des eaux pluviales ;
- A des endroits précis tels que les ouvertures, acrotères de nature du terrain terrasses saillies, gorge ou saignée, etc.

Les principes constructifs indiqués dans la Figure 33 exploitent les performances et les caractéristiques du matériau terre pour réduire ou même éliminer les risques de pathologie, elles garantissent la durabilité des œuvres en terre⁸.

⁸ Encyclopédie du bâtiment, V. 3, P : 5-2135

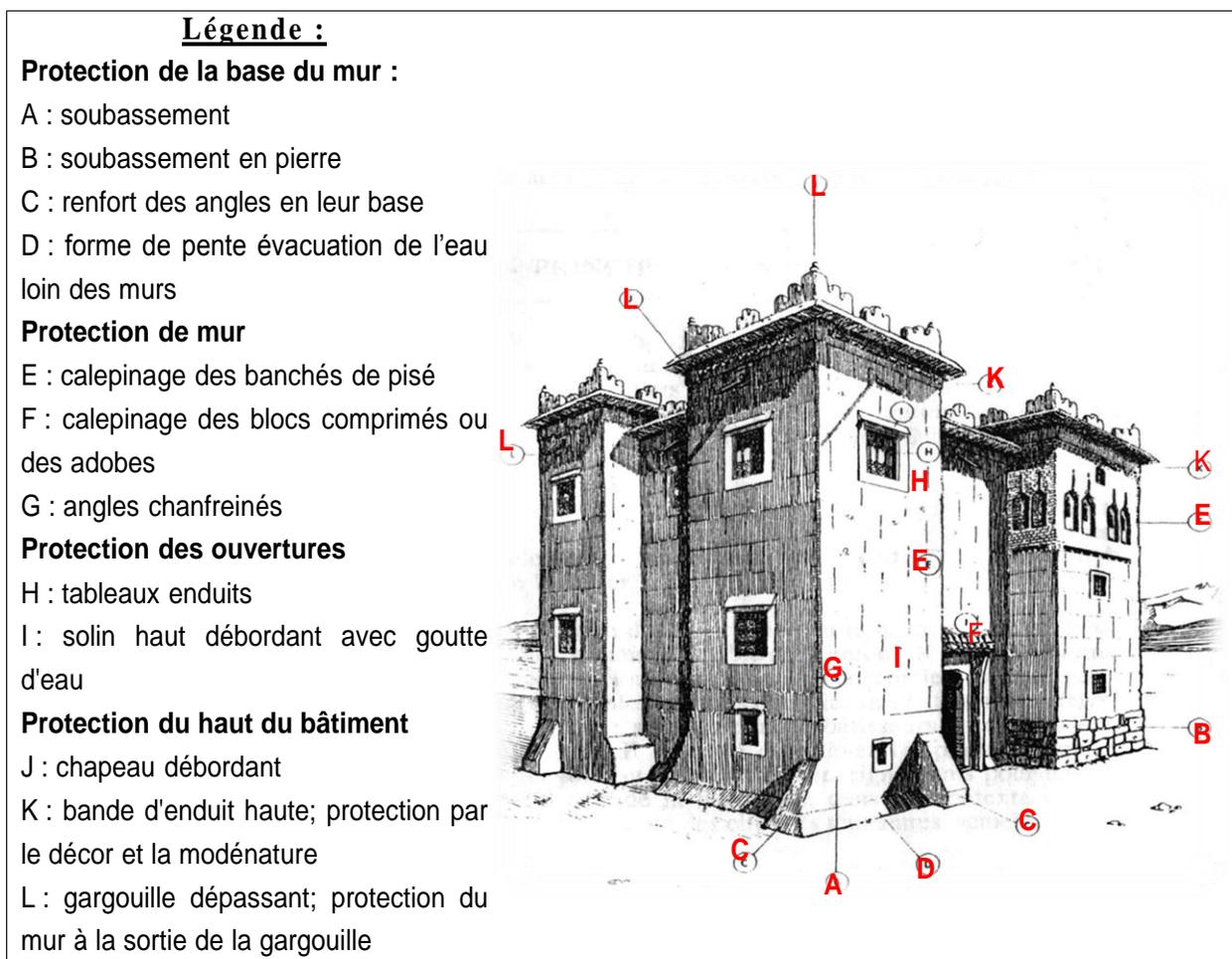


Figure 33 : Le schéma de bonne conception architecturale d'un bâtiment en terre (source le CRATerre).

3.2. La vulnérabilité des constructions en terre

Les constructions en terre sont très vulnérables à l'eau et au séisme, elles peuvent aussi être objet de l'attaque physico-chimique et d'autres nuisibles. Sur le plan psychologique le matériau terre souffre d'une dépréciation générale.

3.2.1. La vulnérabilité du pisé à l'eau

Les constructions en terre sont particulièrement sensibles à l'action de l'eau et de l'humidité, La structure minéralogique et physico-chimique du matériau peut évoluer et se désagréger sous l'action de l'eau, du gel et dégel cyclique et de la forte chaleur, ce qui cause des dégradations et des désordres.

Pour que l'eau affecte les constructions en terre, il faut réunir trois conditions(Houben, H et al, 2006):

- présence de l'eau à la surface du bâtiment;
- présence d'ouvertures dans cette surface qui permettraient à l'eau de s'infiltrer;
- présence d'une force qui fait pénétrer l'eau dans les ouvertures.La précaution à prendre est d'éliminer la conjonction de ces trois facteurs. Pour cela, plusieurs solutions sont possibles;

- les bonnes fondations et le soubassement protègent le bas du mur,
- la protection des sommets et l'élimination des ruissellements. Il ne faut pas imperméabiliser les surfaces des murs qui ont besoin de respirer.
- Eloigner les bâtiments des sources d'eau désagréable reste la meilleure solution qui est possible d'atteindre par le drainage périphérique. Les cycles d'imprégnation et de séchage ne sont pas très graves, c'est la stagnation de l'eau qui peut causer les désordres structuraux (altération des matériaux) ou structurels (altération de l'enveloppe du bâtiment).

La Figure 34, montre les mécanismes et les effets de l'eau dans le bâtiment. Plus le matériau est poreux, plus les précautions doivent être drastiques⁹.

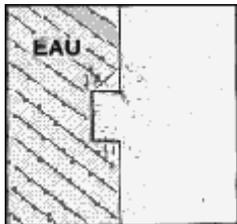
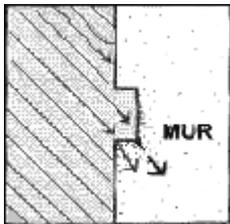
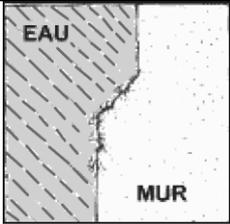
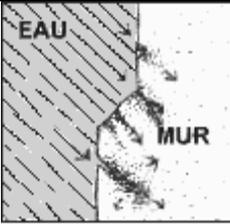
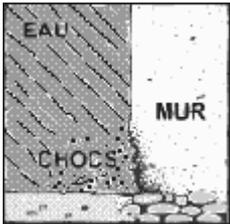
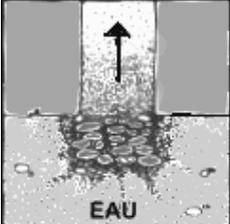
ELEMENT EN SAILLIE (corniche, modénature)		GORGE OU SAIGNEE	
	Dessus: rejaillissement. Dessous: ruissellement, absorption et érosion		Infiltration, érosion de surface, creusement.
CONTREFORT ET CONTREFORT FISSURE			
	Ruissellement de surface, érosion.		Ruissellement, infiltration dans les fissures : infiltration, érosion, creusement
BAS DU MUR SANS SOUBASSEMENT		BAS DU MUR - FONDATION	
	Rejaillissement, érosion, creusement, affaiblissement de la structure.		Remontées capillaires, affaiblissement de la structure

Figure 34 : La pathologie humide ou système de la goutte d'eau (Kebaili, 2006)

- **L'eau dans les fondations** : Des causes multiples peuvent se conjuguer pour conserver un état humide durable qui détériorera irréversiblement les fondations. Nous citons par exemple la fluctuation saisonnière de la nappe phréatique, la rétention d'eau par une végétation arbustive proche des murs, la détérioration des réseaux d'alimentation ou d'évacuation des eaux, l'absence de drainage etc. Les désordres structuraux apparaissent et finissent par effondrer l'ouvrage, ou bien favoriser la prolifération d'insectes et de rongeurs qui finissent par altérer les murs.

⁹ Encyclopédie du bâtiment, V. 3, P : 3-2135

- **L'eau dans les soubassements** : Au-dessus de la surface du sol, les murs peuvent être sensibles au rejaillissement de l'eau du réseau des eaux pluviales, aux plaques stagnantes aux abords du bâtiment, au lavage intérieur à grande eau (plinthes peu élevées) etc. L'eau peut provenir de la condensation de la vapeur à la surface des parois intérieures imperméabilisées par un enduit étanche, ou encore par capillarité au niveau des fondations. ces mécanismes variés contribuent au creusement et à l'infiltration de l'eau dans la base des murs et entraînent l'affaiblissement de la résistance du matériau et de la structure entière.
- **L'eau dans les parties moyennes des murs** : Ce sont les fissures et les vides de clefs de banches non bouchés qui sont les voies directes d'infiltration les plus courantes. Celles-ci accélèrent la capillarité et la stagnation et par conséquent le creusement qui peut être préjudiciable à la stabilité du bâtiment.
- **L'eau dans les ouvertures et les baies** : A la jonction des murs et des tableaux d'ouvertures (portes et fenêtres), lorsque les dispositifs appropriés ne sont pas pris, le phénomène de la goutte d'eau occasionne au sommet un creusement localisé qui s'étend progressivement au reste du mur.
- **L'eau et les enduits** : Un enduit étanche à la vapeur d'eau favorise la condensation et la formation d'un point de rosée au niveau de la jonction du mur et de l'enduit. Cette pathologie cachée, cause progressivement la dégradation structurale du matériau qui peut conduire à terme à un effondrement du mur.
- **L'eau dans les planchers et toitures plates** : Les fissures dues au poinçonnement aux niveaux des appuis de poutres de planchers ainsi que les traversées de murs par ces poutres sont des endroits d'infiltration privilégiés de l'eau. Ces infiltrations peuvent causer à la longue, des désordres structuraux importants.
- **L'acrotère mal conçu** : Les acrotères des toitures plates doivent être convenablement réalisées en utilisant les enduits appropriés et les chapeaux débordants. Ils nécessitent un soin particulier pour éviter l'accumulation des poussières qui pourraient gêner l'évacuation des eaux de pluie. Ils nécessitent un entretien régulier¹⁰.



Figure 35 : un mur en pisé durant une averse de pluie (Jaquin, 2008)

¹⁰ Encyclopédie du bâtiment, V. 3, P : 3-2135

3.2.2. La vulnérabilité du pisé au séisme :

En plus de la vulnérabilité du matériau terre face à l'eau et à l'humidité, sa vulnérabilité sismique due à sa faible résistance, en comparaison avec le béton classique, aux efforts de compression, de traction et de flexion, qui favorise d'avantage les désordres que peuvent subir les constructions en terre.

Le problème des bâtiments en terre en zone parasismique est important. Dans le monde, la carte de zones de grande concentration de bâtiments en terre coïncide sensiblement avec la carte de zones de risque sismique élevé (Bruce, 2008).

Malheureusement, le matériau terre est souvent considéré comme un matériau indésirable pour la conception parasismique à cause de ses propriétés : la structure est plus lourde (car les murs sont généralement épais) que les structures industrielles ; le matériau est plus fragile et moins résistant que les matériaux industriels.

Pourtant, dans la plupart des cas généraux, les désordres subis par des bâtiments lors des derniers séismes sont dus non pas au choix du type de matériau, ou due au type de la structure, mais à la mauvaise qualité de l'exécution, la mauvaise qualité des matériaux, l'étude non conforme aux exigences parasismiques, ou à une combinaison de ces trois aspects (Davidovici.V, 1984), (Zacek, 1996).

Donc, il n'est pas scientifique de dire qu'un matériau est "parasismique" et qu'un autre ne l'est pas. Au lieu d'abandonner systématiquement le matériau terre pour cause parasismique, il est important de comprendre le comportement dynamique des bâtiments de ce type de matériau, ce qui permet ensuite des auscultations et des rénovations adéquates.

Bien qu'il subsiste des limitations dans les règles parasismiques actuelles, ces règles ont quand-même une valeur intrinsèque. En général, des bâtiments conventionnels bien conçus et exécutés suivant les règles parasismiques subissent peu de dégâts. Ce qu'il faut dire ici, c'est que par manque de recherches scientifiques sur le matériau terre, dans les règles, les maisons en terre (dont le pisé) ne sont pas traitées spécifiquement et on doit leur adapter le règlement conçu pour d'autres types de matériau (Bui.Q.B, 2008).

3.2.3. Attaques des nuisibles

Certains pisés (notamment ceux qui sont peu graveleux) peuvent avoir été creusés par de insectes, comme les bourdons ou les guêpes maçonnes. Il s'agit d'attaques souvent bénignes qui ne nécessitent, au pire, qu'un rebouchage à l'enduit.

Des trous plus gênants peuvent être occasionnés par les rats spécialement dans les pisés non graveleux. Il faut alors vérifier l'ampleur des dégâts, puis poser des éclats de verre pour dissuader ces animaux hémophiles. On rebouche ensuite les galeries avec un mortier de terre à pisé, chaux et paille (la paille de lin convient très bien) (Pignal, 2005).

3.2.4. Attaques physico-chimiques

Sur des murs en pisé comme sur d'autres types de maçonneries, on peut observer du salpêtre. Le salpêtre est produit par les remontées capillaires d'eau chargée de sel. A certaine hauteur, cette eau véhiculée dans la masse de la maçonnerie surgit en nu intérieur ou extérieur du mur puis s'évapore au contact de l'air. Mais, à la différence de l'eau, le sel

ne peut pas s'évaporer : il cristallise alors et forme ce qu'on appelle le salpêtre.

Traiter le salpêtre revient à traiter ses causes, ce qui n'est toujours commode. En effet il apparaît difficile de supprimer le sel présent dans l'eau du sol, tout au plus pourrait-on imaginer de créer une barrière étanche en sous-œuvre, mais le coût de ce type d'intervention la réserve à des cas très particuliers.

Un autre cas de salpêtre présente plus d'espoir, lorsqu'il est causé par les excréments d'animaux (anciennes étables transformées en habitations). Dans ce cas, un lavage intensif du sol - souvent constitué d'une dalle de béton qu'il est opportun de déposer en amont des travaux de réhabilitation - permettra à terme une suppression du salpêtre (Pignal, 2005).

3.2.5. Les résistances psychologiques

En plus des vulnérabilités dues aux caractéristiques intrinsèques du matériau terre, il existe également des résistances de nature psychologique et culturelle. En effet, dans certains pays, et notamment en Afrique, le développement a été marqué par l'imitation des modèles occidentaux. Pour de nombreux habitants, la terre symbolise désormais un mode de vie archaïque, un obstacle au progrès, et ils lui préfèrent les abris en bidons ou en carton goudronné, pourtant bien moins confortables. « Les habitants refusent maintenant de bâtir leurs maisons en briques et en tuiles. Ils veulent pour leurs toits de la tôle ondulée et pour les murs ce qu'ils appellent de la « terre européenne », c'est-à-dire du ciment ! » (Nyerere, 1977).

Synthèse : Le matériau terre est connu pour sa vulnérabilité, particulièrement à l'eau et aux sollicitations extérieures. Le pisé n'est pas une exception de ce constat. Les propriétés de la terre disponible localement, n'étant pas toujours favorables à la confection d'un pisé performant. Dans ce qui suit, nous allons voir qu'il est toujours possible d'en améliorer les caractéristiques grâce à la stabilisation ou au renforcement.

3.3. Le pisé : Procédés de stabilisation

La stabilisation permet d'améliorer principalement la résistance à l'eau et aux sollicitations mécaniques extérieures de la terre crue. On peut stabiliser le matériau terre : soit en y ajoutant des stabilisants, (stabilisation chimique), soit de manière mécanique ou alors physique, (sans apport de stabilisants).

- **La stabilisation physique :** On arrive à stabiliser le matériau terre en agissant sur sa texture grâce au contrôle de la granulométrie, de manière à créer une certaine densité qui réduit les pores et les canaux capillaires. La stabilisation physique peut se faire aussi par traitement thermique (déshydratation ou gel) ou par **choc électrique (électro-osmose)** pour obtenir de meilleures qualités structurales du matériau permettant ainsi, l'amélioration de sa résistance à la compression, à la traction et au cisaillement (Houben, H et al, 2006).

- **La stabilisation chimique** : Traditionnellement, le pisé est fabriqué à partir de la terre ou le liant unique est de l'argile. Aujourd'hui, avec le but de diminuer la sensibilité du pisé à l'eau et d'augmenter sa résistance à la compression, la terre est stabilisée au ciment ou à la chaux. On les appelle des "pisés stabilisés". La Figure 36 présente un bâtiment en Grande-Bretagne construit avec du pisé moderne stabilisé au ciment.



Figure 36 : Bâtiment en pisé stabilisé au ciment (Maniatidis, 2003)

- La terre est stabilisée grâce à l'ajout d'un ou de plusieurs stabilisants qui peuvent se présenter sous forme de produits minéraux (ciments, chaux, plâtre...) ou de produits organiques (différentes résines, bitumes ...). Parmi les stabilisants les plus utilisés on peut citer:
 - les hydrophobants (Doat, P et al, 1983) (résines, dérivés aminés, bitumes et hydrocarbures) qui permettent l'insensibilisation de la terre à l'eau.
 - les liants, (chaux aériennes, chaux hydrauliques, lignosulfites etc.), qui en plus de leur capacité à rendre les argiles moins hydrophiles, peuvent aussi contribuer à obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques et de durabilité.
- **La stabilisation mécanique** : c'est un procédé qui consiste à réduire la porosité des briques de terre par compactage mécanique sans ajout de stabilisant. Il peut être statique, (à l'aide de rouleaux cylindres, de rouleaux à pieds de mouton ou de rouleaux à pneus), et convenir aux terres à grains fins, comme il peut être dynamique (rouleaux vibrants, aiguilles et coffrages vibrants, etc.) et utilisé pour les terres à grains plus importants.

3.4. Quelques techniques de renforcement

Nous présentons ci-après quelques techniques de renforcement des murs en pisé qui pourront servir à renforcer des maisons existantes ou appliquer aux maisons neuves.

- **Ossatures en béton armé : Cette technique est utilisée assez fréquemment :** en réalité par manque des connaissances scientifiques sur le matériau terre. Par contre, elle est déconseillée par des recherches scientifiques (Bruce, K et al, 2008), due à une incompatibilité de la raideur entre le matériau terre et l'ossature en béton armé.
- **"Armer" des murs en pisé :** Walker et Morris proposent l'utilisation des armatures en acier pour renforcer des murs en pisé. La densité et la disposition des armatures dépendent de la zone sismique où se situe le bâtiment. La Figure 37 présente un exemple de ce type de renforcement. (Morris & Walker, 2000).

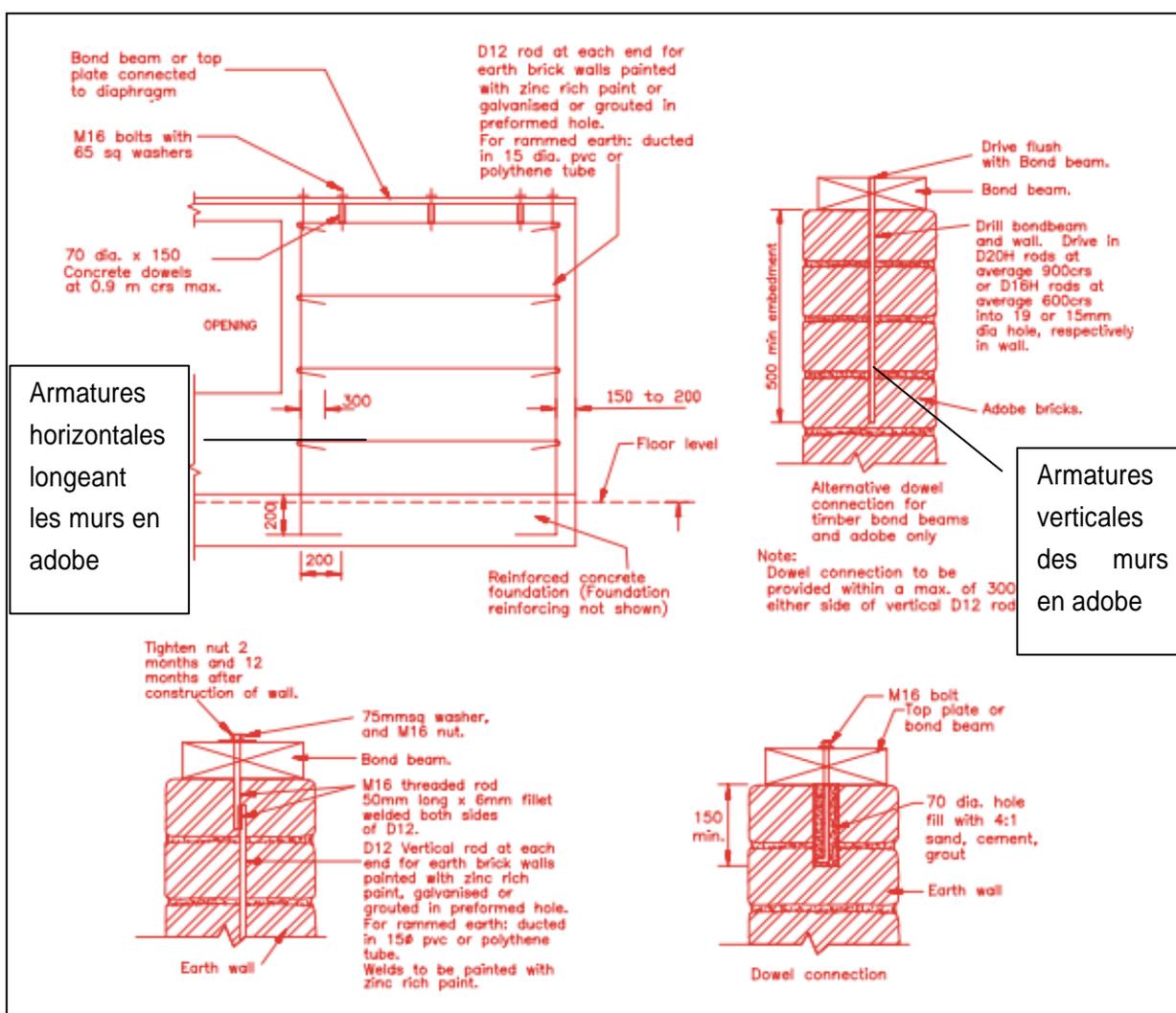


Figure 37: Renforcement parasismique des murs en terre proposé dans la norme de Nouvelle-Zélande (Bui.Q.B, 2008)

- **Renforcement par des grillages souples à l'extérieur du mur**

Plusieurs études ont essayé ce type de renforcement sur des maisons en adobe de petite échelle à vraie échelle. Ces maisons sont testées sur la table de vibration. La Figure 38 présente un exemple d'une maison testée dans l'étude de Blondet et Aguilar (Blondet & Aguilar, 2007). Des mouvements d'un vrai séisme sont simulés à la table de vibration. Des résultats montrent que bien qu'il y ait des dommages, les maisons renforcées par ces grillages en polymères peuvent éviter une rupture totale. Cette technique a bien améliorée la capacité parasismique de ces maisons en adobe. Pourtant, l'inconvénient de cette technique est l'augmentation du coût de construction (le grillage et le temps de mise en place).



Figure 38 : Une maison en adobe renforcé par des grillage en polymer (Blondet & Aguilar, 2007)

- **Tirants verticaux**

Minke encourage l'utilisation des barres de renforcement verticales mais par contre, il déconseille le placement des barres horizontales dans les murs en pisé. La raison est que la force de cisaillement ne peut pas être transférée par des barres puisque la cohésion entre ces éléments et la terre est très faible. Donc, des éléments de renforcement horizontal affaiblissent souvent la structure et cause des fissures horizontales. En plus, en pratique, il est difficile d'assurer un bon damage avec la présence de ces éléments horizontaux (Minke, 2001).

Des barres verticales peuvent être en bambou ou en acier. La technique des tirants verticaux en bambou a été testé en laboratoire avec la table de vibration sur des murs en adobes forme U ou T, ou une petite maison complète. Des résultats montrent que cette technique peut améliorer considérablement la capacité parasismique des murs en adobe testés. Pourtant, les limitations de cette technique est que le bambou n'est pas toujours présent dans les zones sismiques et il ne présente pas une durabilité suffisante (Bruce, 2008).

Pour éviter ce problème de la durabilité des bambous sont remplacés par des tirants en aciers dans les autres études. L'étude de Bruce a testé des maisons à plusieurs échelles avec cette technique (des tirants verticaux à l'intérieur du mur) et avec la technique des grillages en polymère à l'extérieur citée ci-dessus. Le résultat montre que le renforcement par des tirants verticaux à l'intérieur du mur donne des réponses satisfaisantes aux demandes des règles parasismiques actuelles et meilleures que la technique des grillages à l'extérieur.

La technique des tirants verticaux à l'intérieur du mur a été appliquée aux murs en pisé stabilisés dans des études de (Hamilton, H et al, 2006)(Morris & Walker, 2000), avec l'utilisation des tirants en acier précontraint. Ces tirants sont placés dans les tubes mis dans le coffrage pour protéger les tirants contre la corrosion par l'humidité de la terre du pisé. Ces tirants sont introduits la précontrainte après le damage du mur. L'utilisation de la précontrainte peut diminuer la quantité des tirants nécessaires, par rapport à la technique des tirants normaux. Cela diminue non seulement le travail de l'emplacement des renforcements mais aussi facilite le damage du pisé. Avec les tirants précontraints, pour chaque mur, on n'aurait besoin que de 2 tirants aux deux bouts du mur pour supporter la force sismique "en plan" du mur et un tirant au milieu du mur pour supporter la force sismique "hors plan" du mur. Cette technique est tout à fait applicable aux murs en pisé et ouvre une nouvelle voie du renforcement des maisons en pisé neuves ou existantes par son efficacité et sa simplicité de réalisation.

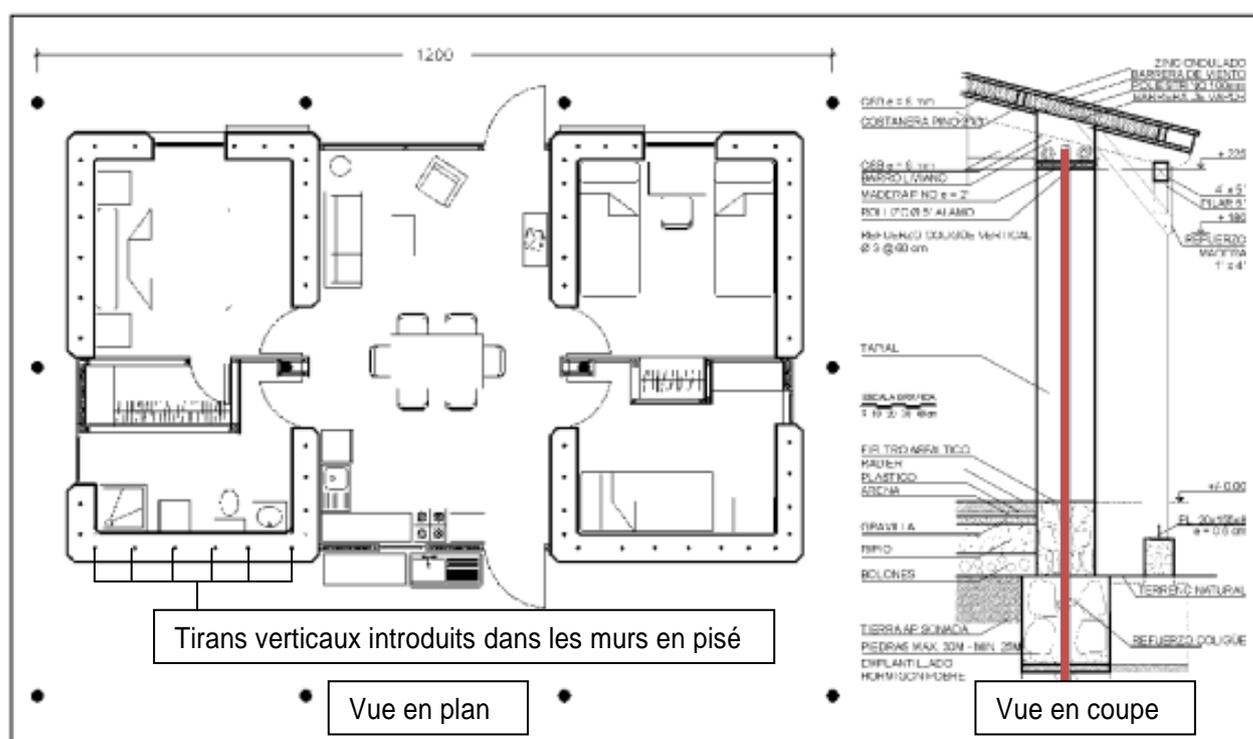


Figure 39 : Renforcement par des tirants verticaux, proposé par Minke (Bui.Q.B, 2008)

3.5. Inconvénient de la stabilisation du pisé

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)

3.6. La durabilité des constructions en terre, essais et recherches contemporaines

La source principale de l'érosion des murs en terre est due à l'énergie cinétique battante des gouttes de pluies (Heathcote, 1995). Les facteurs principaux qui influencent l'amplitude de l'énergie cinétique battante des murs en terre sont : l'intensité des pluies, l'angle des pluies, le dépassement de la toiture et la rugosité du mur.

Pour développer des essais sur la durabilité du matériau terre, Plusieurs recherches ont été mises en place, soit en laboratoire avec les conditions "simulé " comme Ogunye et Boussabaine avec l'essai de "rainfall test", ou Hall avec sa chambre de simulation climatique ("climatic simulation chamber") ; soit sur site, en condition réelles comme Guettala et al avec de petits murets laissés pendant 4 ans sur site, sans protection, ou Heathcote avec une maison à petite échelle.

- **Essai de brosse métallique** ("*wirebrush test*" - ASTM D559, 1989)

Dans ce test, la terre est compactée dans un moule de 100 mm de diamètre jusqu' à une épaisseur approximative de 125 mm. Après 7 jours de stockage, les éprouvettes sont séchées en étuve et pesées Elles sont ensuite placées dans l'eau pendant 5 heures, puis séchées et brossées par une brosse métallique ferme (avec une pression verticale constante) pour enlever tous les matériaux perdus pendant les cycles de séchage-humidification. Après 12 cycles de séchage et humidification, les éprouvettes sont séchées en étuve et leur masse finale est enregistrée. Le pourcentage des matières perdues en masse est calculé.

Plusieurs auteurs ont considéré ce teste comme typique pour tester la durabilité des BTC stabilisés au ciment. Fitzmaurice, dans son manuel (Fitzmaurice, 1958), a proposé des valeurs limites des BTC en cas de bâtiments dans les zones urbaines, de 5% (de ciment) dans une région où la précipitation annuelle est supérieure à 500mm ; 10% (de ciment) dans une région où la précipitation annuelle est inférieure à 500mm. (Heathcote, 1995).

- **Essai d'arrosage** ("*spray test*")

En Australie, cet essai s'appelle aussi "*Accelerated Erosion Test*". Il est utilisé souvent pour

tester des adobes, des BTC et des pisés. Dans ce test, l'échantillon est arrosé pendant une période d'une heure jusqu'à ce que l'échantillon soit transpercé. Le jet d'eau qui projette 50kPa à partir d'un tuyau standard est placé à 470mm de l'échantillon. La surface exposée de l'échantillon est un cercle de 150mm de diamètre. L'épaisseur maximale de l'érosion est mesurée après une heure d'exposition et l'échantillon est vérifié à l'œil pour déterminer l'extension de la pénétration de l'humidité. L'échec est avéré quand l'épaisseur maximale de l'érosion dépasse 60mm ou la pénétration de l'humidité vient jusqu'à l'arrière de l'échantillon.



Figure 40 : L'essai d'arrosage ("spray test"), d'après Heathcote

- **Essai de goutte-à-goutte ("drip test")**

La motivation de cet essai est de développer un test très simple pour que les maçons puissent déterminer eux-mêmes la pertinence de leur terre. Dans cet essai, une mèche en tissu mouillé passe dans 100 mm d'eau, les gouttes d'eau tombent de 400 mm de hauteur sur l'échantillon qui est incliné de 27° par rapport à l'horizontale. Cette action veut simuler des gouttes d'eau de pluie. Frencham relie la profondeur des piqûres après le test à un indice d'érodabilité.

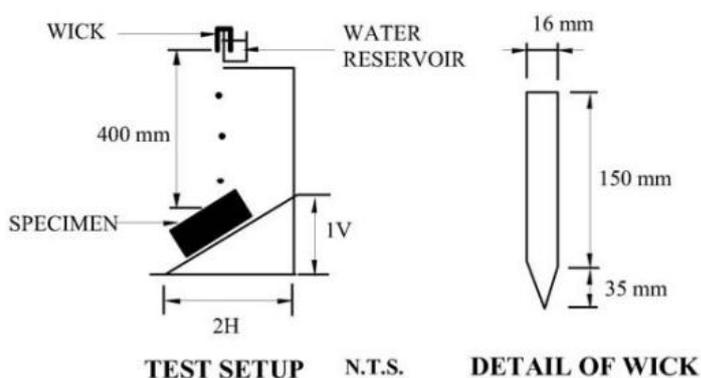


Figure 41 : L'essai de goutte-à-goutte ("drip test"), (Heathcote, 1995)

- **Rapport de la résistance humide et à sec ("wet to dry strength ratio")**

Ce type d'essai a été développé par CRATerre (Houben, H et al, 2006) sur des blocs de terre stabilisés. Les spécifications de cet essai sont : une résistance à la compression minimale à

l'état "sec" de 2,4MPa ; une résistance à la compression minimale à l'état saturé de 1,2MPa ; plus une exigence que le rapport de la résistance humide sur sec n'est pas inférieur à 0,5.

- **Essai de pluies simulées ("rainfall test")**

Cet essai a été proposé par Ogunye et Boussabaine(Ogunye & Boussabaine, 2002) pour tester la durabilité des BTC stabilisés. La distance entre le pulvérisateur et la base de référence est réglable ce qui permet un changement de la hauteur de chute des gouttes d'eau et donc, permet un changement de leur énergie et de leur force d'impact. La base de référence de (0, 985 x 0,950 x 0, 25) m est fixée et inclinée avec une pente de 2,5° pour un drainage libre à tuyau de 20 mm de diamètre. Sur cette base, il y a un support sur lequel sont placées des échantillons. Ce support de (0, 950 x 0, 890) m peut être réglé, ce qui permet une inclinaison de 15-45° par rapport à la direction des gouttes d'eau. Cet angle d'inclinaison est basé sur le fait que des pluies tapent les murs des bâtiments sous un angle dépendant de la vitesse du vent. Le plateau est divisé en plusieurs parties par des parois de 0,25m de hauteur pour intercepter l'éclaboussement de la terre et prévenir l'interférence possible avec d'autres échantillons. Les échantillons sont placés sur un plateau soulevé de 3cm au-dessus du niveau du support pour éviter l'érosion possible de la partie en base de l'échantillon.

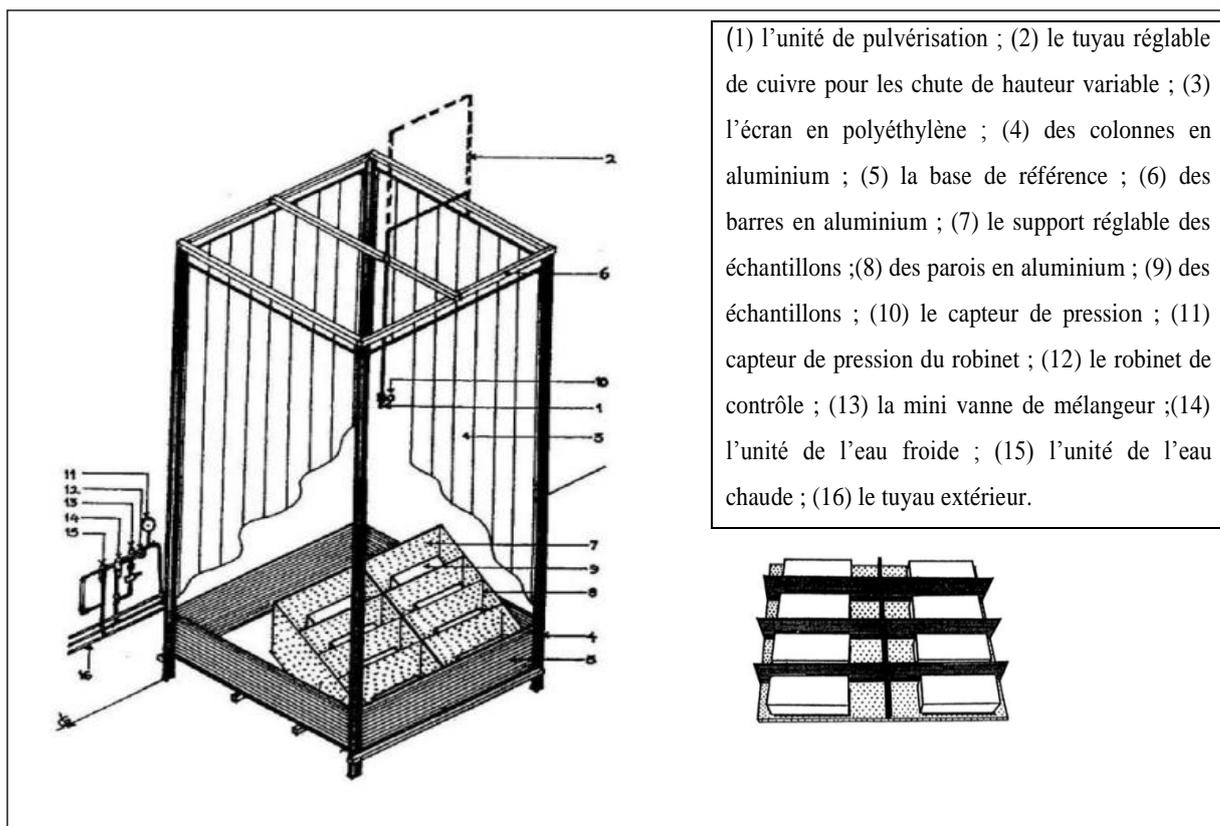


Figure 42 : L'essai de simulation des pluies ("rainfall-test"), proposé par Ogunye et Boussabaine(Ogunye & Boussabaine, 2002)

- **Chambre de climat simulé** ("*climatic simulation chamber*")

Hall propose des "chambres de climat simulé qui peuvent simuler des conditions climatiques pour étudier non seulement la durabilité du pisé stabilisé mais aussi ses caractéristiques thermiques et hygroscopiques. Il a donné les premiers résultats mais des études plus avancées sont indispensables pour avoir les conclusions les plus complètes (Hall M. , 2005).

- **Etude de Guettala et al. (Hall M. , 2005)**

Pour évaluer la fiabilité des essais en laboratoire de la durabilité du matériau terre, Guettala et al. ont fait parallèlement deux types d'essai différents sur des échantillons similaires : des essais en laboratoire et des essais sur site. Pour le premier type, des essais de ont été réalisés sur 4 types de BTC avec des compositions différentes. Pour le deuxième type, 8 murets ont été construits avec les mêmes BTC que ceux des essais de laboratoire. Ces murets ont été exposés aux conditions naturelles pendant 48 mois. La précipitation annuelle du site était d'environ 120 mm. Bien qu'il manque encore des mesures quantitatives, les résultats de cette étude ont montré que tous les essais en laboratoire présenté ci-dessus étaient trop sévères par rapport à ce qui se passe sur site.



Figure 43 : Des murets exposés aux conditions naturels dans l'étude de Guettala et al (Hall M. , 2005)

- **Etude de Bui.Q : Durabilité des murs en pisé exposé pendant 20 ans aux conditions naturelles**

Les murs sont construits en 1985 dans le cadre du programme Rexcoop, piloté par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), sur un terrain proche de Grenoble, à une altitude de 212m Cette région est particulièrement riche en constructions vernaculaires en pisé environ 300 000 maisons âgé de plus de 50 ans (Michel, P et al, 1987). Le programme voulait expérimenter l'utilisation des produits du marché (de 1985) issus de l'industrie chimique, pour la protection des murs en terre sous conditions climatiques naturelles. La construction avec plusieurs types de matériau, plusieurs types de protection superficielle sur un même site avec les mêmes conditions naturelles ont permis des comparaisons directes de l'efficacité des produits testés les uns par rapport aux autres. 104 murs à base de terre

ont été construits, mis en œuvre en masse (pisé, terre paille) ou en blocs maçonné (BTC vibrocomprimé). Les terres utilisées sont différentes pour chaque mise en œuvre. Les protections superficielles changent d'un mur à l'autre. L'étude était faite uniquement sur les murs en pisé.

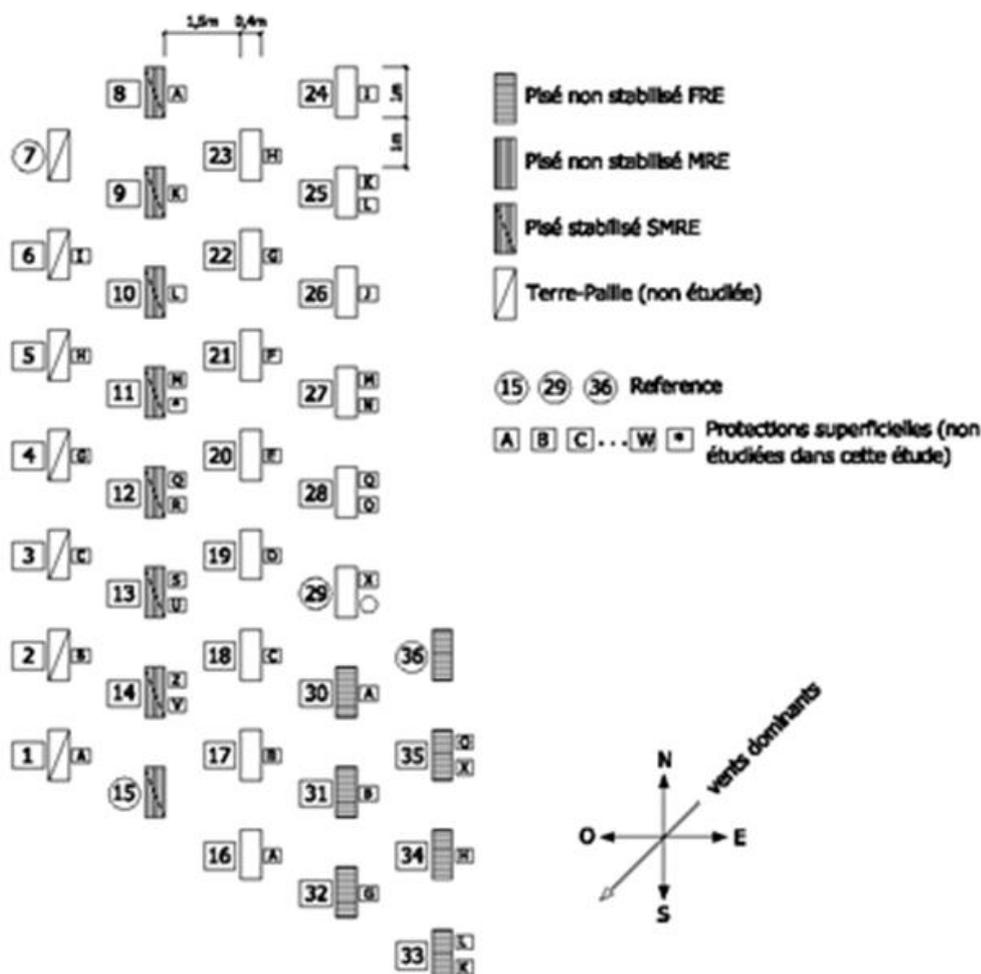


Figure 44 : Plan du site des murets mis en œuvre en masse et la distribution des différents types de protection (enduit, badigeon, peinture, imprégnation, témoin) sur différents supports (FRE, MRE, SMRE).



Figure 45 : Vue générale des murets sur site (Bui.Q.B, 2008)

L'étude de la durabilité du pisé a été réalisée sur les murets en pisé exposés pendant 20 ans dans les conditions naturelles sur site. Une méthode de mesure de l'érosion des murs en pisé est mise au point à partir de la méthode de stéréophotogrammétrie. Des résultats obtenus ont montré une durée de vie de plus de 60 ans pour des murs en pisé non-stabilisé.

L'étude des caractéristiques mécaniques en compression du matériau pisé a été réalisée sur trois échelles différentes. La première est l'échelle des murs sur site. Des mesures dynamiques ont été réalisées sur site pour déterminer des fréquences propres des murs. Le module d'élasticité est déterminé à partir des fréquences propres mesurées en utilisant une modélisation par éléments finis. La deuxième est l'échelle des échantillons représentatifs du matériau pisé (des dimensions proches des murs sur site) fabriqués et testés en laboratoire. Finalement, en ce qui concerne la dernière échelle (microscopique), des essais sont réalisés sur des blocs de terre comprimée (BTC) équivalents. Une procédure d'homogénéisation est réalisée pour mettre au point une procédure de test en laboratoire qui permet de remplacer les échantillons de pisé par les BTC équivalents pour faciliter la procédure de test.

Une étude exploratoire des caractéristiques parasismiques des maisons en pisé a aussi été mise en place. La comparaison des périodes propres des maisons mesurées sur site et celles des formules empiriques proposées par des règles parasismiques a été réalisée. Les techniques de renforcement afin d'améliorer la capacité parasismique des maisons en pisé ont aussi été discutées.

Mesures d'érosion par la méthode stéréophotogramétrique (Bui.Q.B, 2008)

La stéréophotogrammétrie est l'enregistrement photographique de plusieurs vues d'un même objet. Cette technique a d'abord été développée dans la cartographie aérienne, où, en prenant deux clichés d'un même paysage à partir de deux endroits différents, on peut restituer le relief du paysage. Plus généralement, on peut connaître les caractéristiques géométriques d'un objet à partir de deux clichés pris sous deux angles différents (Desrues & Duthilleu, 1984).

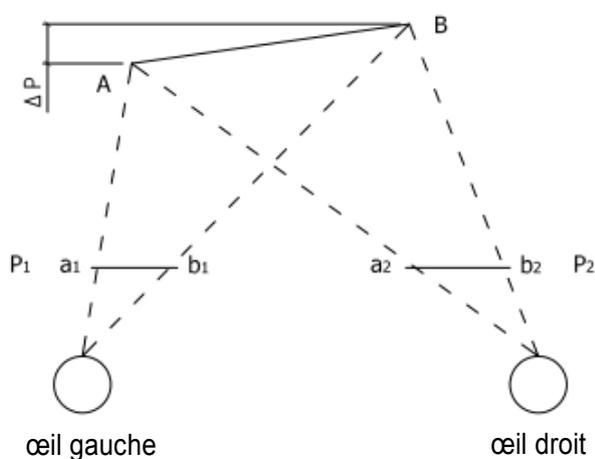


Figure 46 : principe de la méthode de stéréo-photogrammétrie (Desrues & Duthilleu, 1984)

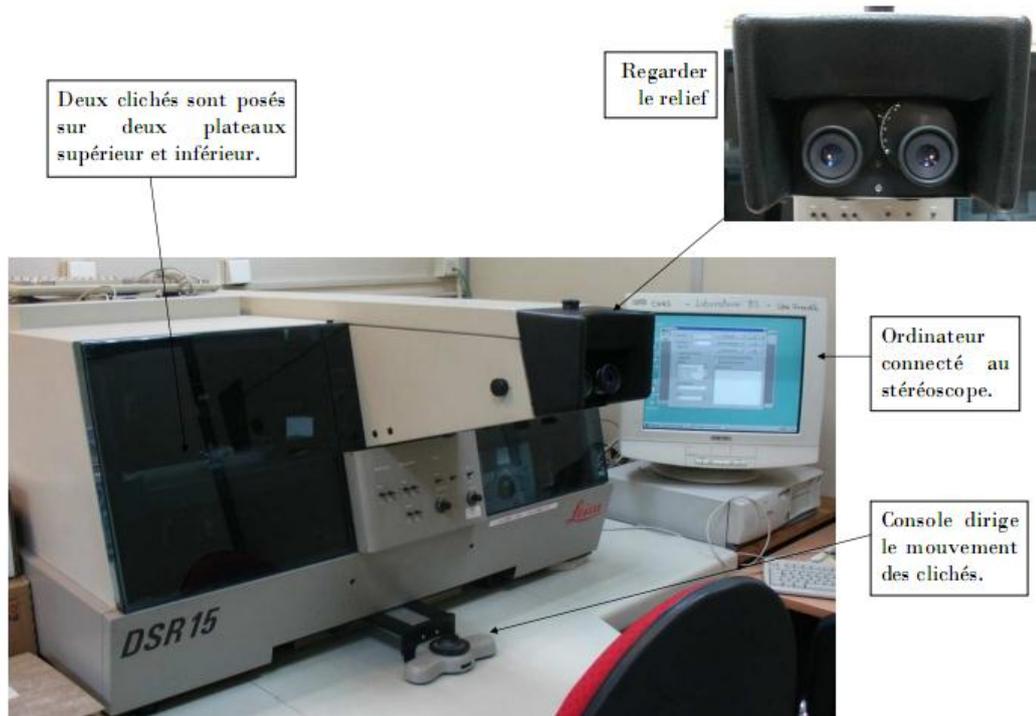


Figure 47 : Stéréoscope - l'appareil d'établissement du relief à partir de deux clichés(Bui.Q.B, 2008)

L'essai de compression uniaxiale (caractéristiques du pisé en compression)(Bui.Q.B, 2008)

L'essai de compression uniaxiale sert à déterminer la résistance à la compression et le module d'élasticité. Des essais peuvent donner les premières connaissances de ce matériau pisé et pourrait servir dans les études du comportement des murs en pisé pendant les tremblements de terre.



Figure 48 : l'essai de compression uniaxiale(Bui.Q.B, 2008)

Conclusion

Il est très répandue que les constructions en terre sont extrêmement sensibles à l'eau et que très fragilisées par ce fait, elles ne peuvent en aucune manière répondre aux normes modernes de confort, de sécurité et de durabilité. paradoxalement, des architectures de terre ont traversé les siècles pour nous parvenir et la durabilité de ces architectures est en effet parfaitement incontestable et l'eau ne peut porter atteinte aux bâtisses réalisées en terre crue que si ces dernières sont mal conçues, c'est à dire que leur réalisation ne respecte pas les règles de l'art de bâtir en terre. Cela signifie que la vulnérabilité à l'eau des architectures de terre est un mythe construit sur la réalité de la perte des savoir-faire constructif traditionnels et de la culture d'entretien. En réalité, La terre, en tant que matériau de construction, présente une très bonne capacité de résistance à l'eau à la seule condition d'être mise en œuvre dans les règles de l'art, et les constructions en terre peuvent par conséquent répondre aux normes les plus modernes de confort, de sécurité et de durabilité.

Cependant, il est toujours possible d'améliorer la résistance des constructions en pisé par différents modes de stabilisation ou de renforcement. Dans cette optique différentes recherches sont menées soit au laboratoire ou sur site pour évaluer les caractéristiques du pisé et améliorer ses performances.

A travers cette recherche bibliographique nous avons pu voir que Les qualités physiques de la résistance et de la durabilité du matériau ne sont plus un obstacle mais comme énoncé précédemment dans le chapitre introductif, nous nous souhaitons pas arrêter aux aspects techniques du matériau seuls, nous voulons également donner la paroles aux usagers à travers un champ disciplinaire qui se rapporte aux science sociales, c'est ce dont il sera question dans le prochain chapitre.

4. Chapitre IV : La relation individu- environnement et perception de l'espace

Introduction

Aujourd'hui, eu égard aux impératifs écologiques et environnementaux, toute perspective de développement doit être dirigée vers une appréhension globale de l'environnement en prenant en considération la complexité des relations qui lient les humains à leur milieu. nous allons dans ce chapitre introduire la dimension humaine qui se matérialise par la présence de l'individu qui vit, utilise et ressent l'espace.

Les recherches et études sur les mécanismes de l'interaction homme- environnement, se déroulent principalement dans le cadre d'une science jeune qui est "la psychologie de l'environnementale". Son objet d'étude concerne « les interrelations entre l'homme et son environnement physique, dans lesquelles les dimensions sociales et culturelles sont toujours présentes et médiatisent à la fois la perception, l'évaluation, les attitudes de l'homme en rapport à son milieu physique, mais également les effets de cet environnement physique sur ses comportements et conduites »(Moch & Moser, 1997). L'intérêt de cette étude est porté sur les modalités d'échanges actives à travers lesquelles « l'homme s'adapte constamment et activement au milieu où il vit soit en évoluant lui-même, soit en modifiant son environnement »(Levy-Leboyer, 1980).

Les chercheurs dans ce domaine, s'interrogent, sur trois points essentiels : l'action de l'environnement physique sur ses occupants ; la manière dont les gens comprennent leur environnement physique ; et comment ils agissent sur leur environnement(Chabane, 2006). Dans notre étude nous allons nous intéresser au deuxième point, à savoir la manière dont les occupants comprennent leur espace vécu : l'habitat en pisé.

A cette étape de la recherche, nous allons tenter de définir les principaux processus d'interaction entre l'homme et l'environnement physique. Ces processus nous serviront d'indicateurs théoriques, nécessaires à la construction de l'outil d'enquête dans la perception des habitations traditionnelles en pisé.

Afin de mieux appréhender la question de la perception de l'espace, nous allons en premier lieu aborder la question de relation individu-environnement le champ disciplinaire qui s'occupe de cette relation et les modèles théoriques qui ont été développé pour étudier cette relation. Ensuite Il est important de définir clairement les différents concepts fréquemment utilisés en psychologie de l'environnement : perception, représentation prédiction et adaptation.

4.1. La psychologie environnementale

La psychologie environnementale étudie les relations entre l'individu et son environnement, le rôle de celui-ci et ses multiples influences sur le comportement humain(Fischer, 1965) Elle est constituée en tant que discipline autonome au cours des années soixante-dix, dans les pays anglo-saxons. Les investigations menées avaient pour objectif principal de saisir comment les caractéristiques de l'environnement interagissent avec les caractéristiques psychologiques des sujets dans la détermination de leurs comportements et de leurs

représentations. Elle est définie comme étant « l'étude des interrelations entre l'individu et son environnement physique et social, dans ses dimensions spatiales et temporelles »(Moser, 2003).

L'objectif de la psychologie environnementale est « d'identifier les processus qui régulent et médiatisent la relation homme-environnement, en mettant en évidence les perceptions, attitudes, évaluations et représentations environnementales d'une part, et les comportements et conduites environnementales qui les accompagnent d'autre part ». Ainsi, l'effet des conditions environnementales sur les réactions de l'individu, et la manière dont il les perçoit, constituent les deux principaux pôles d'intérêt des études de la relation homme-environnement.(Moser, 2003).

Aujourd'hui, la recherche en psychologie environnementale, souvent interdisciplinaire, voir transdisciplinaire, couvre trois domaines principaux : les "environnements urbains", les "représentations et comportements environnementaux", et "la qualité des ambiances" (Moch & Moser, 1997).

4.2. Le processus d'interaction individu-environnement

L'environnement est le "monde extérieur à l'individu", le cadre de vie qu'il perçoit, ressent, se représente, et où il se projette dans l'avenir (Moser, 2003).

D'après G. Moser (2003), les approches physiques de l'environnement peuvent être classées en quatre niveaux, engendrant des degrés différents de contrôle sur l'environnement (Tableau 6).

Tableau 6 : Aspects physiques des différents niveaux d'environnement(**Moser, 2003**)p.17

	Aspect physique de l'environnement	Type d'espace et controle
Niveau I	Micro-environnement Espace privé/habitat Espace de travail	Espaces privatifs Contrôle étendu
Niveau II	Environnements de proximité, voisinage Espaces ouverts au public	Espaces semi-publics Contrôle partagé Espaces publics
Niveau III	Environnements publics Villes ; villages	Contrôle médiatisé Pays, nation, planète
Niveau IV	Environnement global	Contrôle hypothétique

Notre problématique d'étude se situe au 1er niveau de cette classification. A cette échelle, le contrôle environnemental est étendu et « les interactions sont réciproques et dynamiques, les individus sont susceptibles d'agir sur leur environnement, mais en retour, les conduites et les expériences peuvent être modifiées par ce dernier»(Moch & Moser, 1997).

4.3. Modèles d'analyse de la relation individu - environnement

Pour cerner la relation entre l'individu et son environnement, trois théories ont été développées par la psychologie de l'environnement en utilisant soit un « modèle causal », soit un « modèle d'interdépendance » (Boussoulim, 2002). La psychologie traditionnelle considère de manière séparée l'action de l'homme sur son milieu extérieur et les effets du milieu extérieur sur l'homme (Levy-Leboyer, 1980).

- Pour le modèle causal, dont l'objectif porte sur l'étude de l'interaction entre les variables physiques de l'espace et le comportement de l'individu, nous pouvons distinguer deux grands courants suivant que l'individu ou l'environnement apparaît comme facteur dominant :

- « l'individu comme facteur dominant » : Ce courant est inspiré du « déterminisme biologique » où on considérait que l'influence d'un aspect de l'environnement physique est conditionnée par les traits de personnalité d'un individu, en rapport avec l'instinct (BELL, P.A. & al, 1996), et que l'environnement offre des possibilités (possibilisme) et des contraintes sur lesquelles l'homme effectue des choix de réaction, indépendants de la spécificité de la situation.
- « L'environnement comme facteur dominant » : Cette théorie tire ses fondements du courant « behavioriste » axé sur une relation directe entre la stimulation environnementale et la réaction de l'individu (Stimuli-Réponse), sans considération pour les représentations mentales dans le processus d'interaction entre l'individu et son environnement (Le Ny, 1993) (Bagot, 1999). Cette théorie attribuait à l'homme un rôle passif, subissant l'environnement sans réaction modificatrice ou transformatrice, mais plutôt avec un comportement conditionné et déterminé par les aspects de l'environnement. Ce dernier était décrit exclusivement en terme de stimulus-réponse, en relation directe avec l'individu, à travers un effet d'action/réaction, une conception qui considérait les buts équivalents pour tous.

Aujourd'hui ces deux modèles sont unifiés par une théorie qui considère la relation individu-environnement comme système d'interdépendances complexes. le "cognitivisme". Dans sa définition cette théorie met l'accent sur les phénomènes de cognition, liés à la connaissance (Le Ny, 1993).

Cette théorie répandue depuis les années 60, conçoit que les comportements de l'individu ont pour explication, un traitement interne de l'information sensorielle qu'il perçoit de son environnement. Englobe : l'action de l'environnement sur l'individu, la perception de l'environnement et l'action de l'individu sur son environnement. Les processus de cette interaction correspondent à quatre niveaux de besoins fondamentaux chez l'individu, que Kaplan [1977]¹¹ définit par :

- 1) reconnaître, à travers l'activité perceptive ;
- 2) prédire, en construisant des attentes ou expectations ;

¹¹ Cité dans : Lévy-Leboyer (1980), p.37.

3) évaluer, en confrontant les attentes à la situation environnementale du moment ;

4) et réagir, par l'adoption d'un comportement conséquent, avec un effet de feed-back, qui permet l'ajustement, et l'équilibre dans cette interaction ou l'aboutissement de ces échanges. Cela correspond à ce qu'on nomme couramment par "l'adaptation" Ainsi, dans la théorie cognitiviste, « les réponses individuelles à l'environnement ne peuvent être expliquées sans l'analyse complète des étapes cognitives intermédiaires, parce que ce sont ces étapes qui confèrent une signification individuelle aux stimulus reçus du milieu extérieur »(Levy-Leboyer, 1980).

Dans ce qui suit, nous tentons de définir les principaux processus interdépendants :

4.4. La perception spatiale

La perception, c'est d'abord l'objet d'une expérience vécue : L'individu, dans son expérience, se construit en permanence des images de l'espace dans lequel il vit.

Les premières études sur la perception spatiale étaient suscitées par des architectes et des planificateurs urbains qui voulaient comprendre le comportement des habitants des nouvelles formes de logement de masse d'après-guerre. Ces études cherchaient à voir les effets des aspects physiques du cadre bâti sur l'impression de bien-être. Les éléments étudiés se référaient à des modèles de confort humain pour étudier différents éléments, tels que l'éclairage, le chauffage ou les caractéristiques des fenêtres. Ces études faisaient partie d'une nouvelle branche en psychologie ; la psychologie de l'environnement qui a aujourd'hui élargi son champ d'investigation à tous types d'environnement dans lequel l'être humain peut être amené à évoluer(Greco-Eat et Apb, 2002).

La perception est définie par « l'ensemble des mécanismes et des processus par lesquels l'organisme prend connaissance du monde et de son environnement sur la base des informations élaborées par ses sens »(Bonnet, C, 1993). Selon Colette Cauvin, un espace peut être décrit, appréhendé et identifié à partir de ses attributs objectifs ; dimensions, ouvertures, circulations etc. ce sont les données de tous les éléments permettant de caractériser un espace architectural ou urbain de la même manière objective pour tous. Mais, il est loin d'être certain qu'un espace soit perçu de la même manière par tous les usagers. En effet Nous ne pouvons pas ignorer que dans le processus de perception, l'individu intervient autant biologiquement que psychologiquement(Bailly, 1977). La perception est donc un «processus actif dans lequel l'individu tout entier est impliqué, en percevant l'environnement il le (re)construit, et le résultat de cette élaboration perceptive est particulier à chacun »(Levy-Leboyer, 1980).

Aujourd'hui, la "perception" est inscrite dans l'approche cognitiviste qui la conçoit comme «le résultat de l'ensemble des opérations mentales qui permettent de donner une signification aux entrées sensorielles»(Bagot, 1999). Elle décompose la perception en deux étapes de traitement spécifique de l'information environnementale :

- "traitement guidé par le stimulus" ou "ascendant, concerne les premières étapes de perception où les informations traitées sont directement issues de la stimulation,

autrement dit "traitement sensoriel" des informations environnementales. Les informations sensorielles sont intelligibles au niveau des organes sensoriels, grâce aux récepteurs sensoriels. Pour chaque sensation, une énergie physique de l'environnement stimule des récepteurs sensoriels spécifiques, dont les potentiels donnent naissance à des potentiels d'action (Bloch, H et al, 1993).

- "traitement guidé par les concepts" ou "descendant", dépend des connaissances antérieures du sujet, ses attentes, motivations et schémas cognitifs préexistants ; autrement dit traitement cognitif où la perception nécessite une mémorisation des éléments perçus sans laquelle l'environnement paraîtrait nouveau à chaque instant, aucun savoir ne serait stable et il serait impossible pour les Individus de prévoir, évaluer, agir et donc s'adapter à l'environnement (Steri, 1994). En effet, l'homme possède des informations plus ou moins détaillées sur son espace. Ces informations ne lui parviennent pas directement, elles l'atteignent à travers les systèmes perceptifs qui lui sont propres et immédiatement interprétées et transformées selon la personnalité de chacun, de sa culture et du milieu où il se trouve. Elles vont induire son comportement spatial, son usage du lieu et ses actions. (Kebaili, 2006).

Ce mode de traitement consiste à interpréter les informations sensorielles à partir des connaissances antérieures de l'individu, que chacun de nous possède, dans sa mémoire à long terme (MLT).

Ces connaissances sont des représentations des objets du monde extérieur, auxquelles les informations sensorielles du moment sont confrontées pour "re-connaissance". Ces représentations ou connaissances, sont des traces cumulées au fil des expériences vécues, des perceptions répétées, et des déplacements dans l'environnement (Levy-Leboyer, 1980).

Aussi, transformer un espace en ne tenant compte que des données objectives, serait une erreur de la part de l'homme qui modèle, façonne et transforme le monde où il vit. Ainsi pour satisfaire les besoins des utilisateurs d'un espace, il est indispensable de connaître et de comprendre les différences entre l'espace objectif et l'espace subjectif (Cauvin, 2007).

L'espace objectif correspond à l'étendu de référence qui contient l'homme et qui l'entoure, il est déterminé par des attributs spécifiques mesurables universellement. Il peut être représenté sur un plan. Selon les activités des individus et leurs buts, l'espace objectif sera transformé par des caractéristiques bien précises mais qui varieront. Nous obtenons alors de nouveaux types d'espace ; ce sont les espaces fonctionnels - au pluriel car chaque individu possède un but et une activité différente de celle des autres utilisateurs de l'espace-. L'espace fonctionnel peut être représenté sur une « carte de la réalité » qui déforme l'espace objectif avec des inégalités mesurables, ce sont des attributs sélectionnés mais universellement mesurables (voir Figure 49).

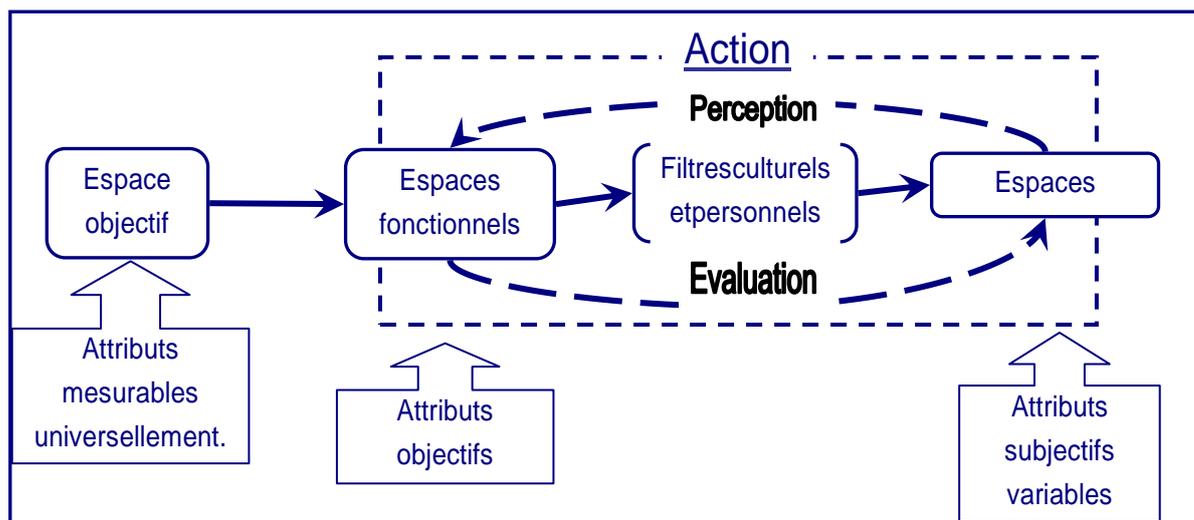


Figure 49 : De l'espace objectif aux espaces cognitifs (Cauvin, 2007)

Les caractéristiques des espaces fonctionnels seront triées par des filtres culturels et personnels et donnent naissance aux espaces cognitifs avec des attributs subjectifs variables. E. T. hall montre que les espaces architecturaux et urbains créés par l'homme sont l'expression de ce processus de filtrage culturel. Les filtres personnels donnent à chaque individu son originalité, elles sont composées des expériences personnelles et de la manière dont elles ont été maîtrisées et intégrées.

- Les données spatiales perçues par le sujet ;
- Les données dues à des éléments non directement liées à l'espace ;
- Les données dues aux croyances émises en l'absence de l'espace.

C'est pourquoi même si un sujet n'a pas vécu un espace, il est capable de le reconnaître. Ces données participent à la formation de la représentation cognitive de l'espace qui peut être matérialisé par ce qui est appelé la « configuration cognitive » de l'espace.(Cauvin, 2007).

4.5. La représentation (le traitement cognitive de l'espace)

Le traitement cognitif consiste à interpréter les informations sensorielles à partir des connaissances antérieures de l'individu, que chacun de nous possède, dans sa mémoire à long terme (MLT). Ces connaissances sont des représentations des objets du monde extérieur, auxquelles les informations sensorielles du moment sont confrontées pour "reconnaissance". Sans ces représentations, on perdrait la possibilité d'identifier ou reconnaître les éléments les plus ou moins familiers, et cela constituerait un important handicap dans notre pratique de l'environnement. Ces représentations ou connaissances, sont des traces cumulées au fil des expériences vécues, des perceptions répétées, et des déplacements dans l'environnement (Levy-Leboyer, 1980). Elles sont à l'origine de réapparition de comportements ou d'actions que la perception du moment peut exiger, et permettent aussi la planification et l'orientation des activités futures.

On attribue généralement deux définitions à la "représentation" : d'une part, elle désigne le processus mental qui constitue un lien entre l'environnement réel et l'environnement perçu ; et d'autre part, elle désigne le produit même de ce processus qui est la représentation de chaque élément de l'environnement dans l'esprit de l'individu (Denis, 1989). Les informations sont interprétées à partir de représentations-produits, activées dans la mémoire à court terme (MCT) pour reconnaissance des informations sensorielles familières ; et lorsqu'elles sont nouvelles, le processus de représentation les prend en charge. Durant ce processus d'abstraction, le message sensoriel est transformé de manière à subir une perte informationnelle qui ne permet pas à l'individu de reconstituer fidèlement l'objet originel juste à partir de sa représentation. Il n'en gardera que les traits saillants, dépendants de : ses capacités sensorielles, du degré de conformité aux valeurs perceptives (issues de la culture et de l'expérience), et de l'opportunité d'interaction avec l'environnement (résolution de problèmes, adaptation, etc.).

- **Les facteurs liés à la représentation cognitive**

Il est admis qu'il existe une part de la perception spatiale commune entre les individus et qui représente le groupe social même si chaque individu possède sa propre représentation cognitive de l'espace. Les représentations cognitives sont influencées par trois types de facteurs qui sont le sujet, l'environnement et l'action qui lie le sujet à son environnement¹².

- a- Les facteurs liés au sujet**

Au-delà des caractéristiques individuelles physiologiques qui interviennent lors de la confrontation de l'individu au stimulus environnemental, nous nous intéressons aux facteurs individuels psychologiques intervenant dans le traitement cognitif de l'information et qui font que le résultat soit propre à chacun, en effet chaque individu a une vue personnelle, au moins partiellement de l'espace dans lequel il vit (Cauvin C, 2007), il s'agit de la culture, l'expérience et la personnalité, dont les influences combinées se structure sous forme d'un modèle de filtre (Ghernoug, 1987)

- **La culture**

L'influence de la culture apparaît dans le fait que l'environnement soit culturellement marqué de valeurs, véhiculant des significations intégrées au fonctionnement cognitif et comportemental de l'individu. (Moser, 2003)

Rapoport, A. [1984], considère qu'à travers les valeurs, règles sociales, attitudes et croyances partagées par une communauté, la culture joue un rôle important dans la formation de "patterns" comportementaux et par son influence sur la formation de l'image mentale ou la représentation de l'environnement. L'auteur considère que le comportement est conditionné par le style de vie, issu de l'image mentale de l'environnement, qui à son tour est moulée par des valeurs culturelles façonnées par la culture (Rapoport, 1984).

¹²C. Cauvin, propositions pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine, in http://www.cybergéo_press.fr/geocult/texte/cognima.htm

- **L'expérience**

L'expérience environnementale a une influence importante sur l'interaction entre l'homme et son environnement, car « plus nous disposons de procédures de traitement variées, efficaces et automatisées, plus nous pouvons consacrer de ressources aux caractéristiques nouvelles d'une situation et augmenter nos chances d'une réponse pertinente et rapide » (Lecocq, 1994).

- **La personnalité**

La personnalité est structurée à partir des phénomènes relevant aussi bien du cognitif que de l'affectif, et la limite imprécise entre ces deux fonctions laisse concevoir une structure mixte de la personnalité (Le Ny, 1993). On attribue à cette structure l'appellation de "style cognitif" qui est défini par « la façon propre à chacun de percevoir, d'évoquer, de mémoriser et donc de comprendre l'information perçue à travers les différentes modalités sensorielles qui sont à sa disposition face à une connaissance nouvelle » (Flessas, 1997). En d'autres termes, c'est une configuration cognitive et affective d'appréhension et d'interprétation de l'environnement, une sorte de schéma intrinsèque à chaque individu qui filtre sa perception.

b- Les facteurs liés à l'environnement

Les caractéristiques qui interviennent dans la représentation cognitive sont nombreuses, elles ont fait l'objet de multiples recherches.

Les travaux de K. Lynch mettent l'accent sur les caractéristiques environnementales importantes d'une ville ; il parle de lisibilité, de paysage urbain etc. Ces attributs concernent les traits physiques des lieux, la fonction, les caractéristiques des liens entre les lieux tels que la longueur, la rectitude etc.

J. Morval (1981) dans une étude comparative des villes de Rome et Milan, montre l'influence de lieu de naissance sur les représentations cognitives, il affirme que les natifs ont une connaissance plus riche et individualisée de leurs villes. Il souligne également l'influence que peut avoir la durée de résidence sur la représentation de l'environnement. Il trouve qu'une durée de résidence longue coïncide avec une meilleure performance de contenu de veridicité (Morval, 1981).

c- Les facteurs liés à l'action

En effet l'environnement est perçu et évalué à travers et par l'action, la séquence d'action est inséparable de la perception dont elle constitue à la fois une condition essentielle, un des moteurs et le feed-back qui permet de vérifier que l'élaboration perceptive est pertinente, « c'est la manière dont on utilise l'espace, ce sont les motivations qui nous incitent à faire usage de l'espace, qui vont induire certaines représentations de ces espaces. » (Cauvin, 2007).

4.6. La prédiction environnementale

La prédiction correspond aux attentes, aux prévisions des aspects positifs ou négatifs liés à l'environnement. La satisfaction exprimée ou la plainte environnementale est souvent

effectuée sur la base du rapport établi entre les attentes préconstruites et la donnée environnementale. Un rapport qui dépend lui-même de la valence (négative/ou positive) du facteur environnemental perçu. Cette valence désigne dans le domaine de la psychologie « la propriété d'un stimulus ou d'un objet qui fait qu'il est désiré ou fui, ou encore ressenti comme plaisant ou déplaisant » (Mestoul, 2010).

4.7. L'évaluation environnementale

Percevoir un environnement, c'est aussi le juger en portant des appréciations positives ou négatives, qui seront autant d'indices pour comprendre le sens qu'on lui donne. Pour Levy Leboyer (1980), la perception des caractères physiques de l'environnement est inséparable de l'évaluation affective, esthétique, normative, sociale, culturelle » (Ficher & Vincent, 1998).

Dans les démarches d'évaluation environnementale, la relation homme-environnement est étudiée à travers les processus cognitifs et affectifs.

- Les composantes cognitives se répertorient parmi les processus de perception donnant lieu à la carte cognitive (l'image) d'un espace. Dans cette méthode, le cadre référentiel d'évaluation est écarté de l'analyse environnementale.

- Les composantes affectives sont étudiées à partir des réponses émotionnelles des individus en tant qu'expression du degré de plaisir, de contrôle ou d'insatisfaction par rapport à un espace. Cette composante affective de l'évaluation peut être interprétée en termes de « qualité » attribuée à un environnement. Cette méthode est axée sur l'étude du degré de satisfaction de l'individu par rapport à un environnement donné. Elle est centrée sur l'individu et essaye d'analyser l'expression subjective de celui-ci, ses valeurs et ses préférences concernant un environnement donné.

Généralement, toute position exprimée, de "rejet" ou de "recherche" à l'égard d'un facteur environnemental, est justifiée par une raison interne, liée à l'individu -attribution dispositionnelle-, ou une cause externe, liée à l'environnement -attribution situationnelle- (Deschamps, 1996). (Kitouni, 1988)

Lorsqu'un occupant évalue son environnement, deux temps sont à distinguer : une évaluation globale qui suggère sa réaction affective; puis une évaluation spécifique détaillée pour chaque composant (Ghernoug, 1987)(Levy-Leboyer, 1980)Le rapport entre l'évaluation globale et spécifique est difficile à cerner car une satisfaction globale peut occulter une gêne spécifique et inversement.

L'évaluation met en évidence le degré d'adéquation perçue entre les ressources et les autres attributs environnementaux et les buts que le sujet compte atteindre au sein d'un environnement précis.

En psychologie de l'environnement si on considère l'évaluation comme l'ensemble des processus par lesquels les individus jugent de la qualité de ce qui les entoure. « L'évaluation s'applique plutôt à la qualité de vie qu'à ce qui la perturbe, l'idée implicite étant que les mauvaises conditions de vie sont le symétrique inverse des bonnes conditions de vie » (Levy-Leboyer, 1980).

- **Le ressenti**

Sensation et évaluation sont deux dimensions de la perception indépendantes. Elles ne sont pas toujours abordées par un même individu. L'évaluation de l'environnement ou de l'un de ses aspects, n'est pas systématiquement accompagnée de l'expression d'un sentiment. En outre, la sensation et l'évaluation peuvent s'opposer (Greco-Eat et Apb, 2002). Par exemple; "j'aime ma maison" est une sensation positive, " la maison est étroite" est une évaluation négative. La sensation fait appel au "ressenti", c'est une dimension affective de la perception. C'est une réaction émotionnelle (Greco-Eat et Apb, 2002).

4.8. Adaptation environnementale

Des études telles que celle de K. Lynch ont montré qu'un individu ne peut être sensible à la totalité des éléments qui l'entoure à cause de ses limites sensorielles ou d'attention. La démarche et les éléments définis par Lynch expliquent bien ces limitations cognitives humaines et donc l'utilité de simplifier les cadres qui permettent à des humains de faire face à de vastes quantités d'informations (Lynch, 1996).

Nous pouvons retenir ici que, lorsqu'il y a beaucoup d'informations exigeant notre attention nous éprouvons une surcharge d'informations : les stimulus de l'environnement que nous gardons sont les stimulus qui sont importants ou ceux qui sont familiers (l'adaptation et l'habitude) (Adolphe, L. et al, 2002).

L'adaptation est considérée comme étant le mécanisme qui permet à l'homme de s'ajuster à l'environnement, en changeant sa vision ou ses comportements face aux problèmes environnementaux. « Elle est l'ensemble des modifications des conduites qui visent à assurer l'équilibre des relations entre l'organisme et ses milieux de vie » (Bonnet, C, 1993) Sundstrom, (1986), a pu distinguer en fonction des réponses de l'individu face à un environnement contraignant deux formes d'adaptation, à savoir : une adaptation perceptuelle et l'autre comportementale (Sundstrom & Sundstrom, 1986).

4.8.1. Adaptation perceptuelle

Elle concerne les mécanismes de perception ; tant physiologique que psychologique.

- Au niveau physiologique : notre corps fait appel aux mécanismes sensoriels (inconsciemment) qu'il lui permet de ajuster la perception sensorielle soit par une atténuation ou une augmentation de la sensibilité au stimulus. Par exemple lors d'une lumière intense la pupille se rétrécit pour absorber le minimum de lumière et ce, afin de lutter contre l'éblouissement.

- Au niveau psychologique, l'adaptation se base principalement sur la composante cognitive (attentes, images construites au fil du temps, voire expérience) qui diffère forcément d'un individu à un autre. Ceci permet de définir la manière dont l'individu accepte ou refuse le stimulus perçu, à court ou à long terme. Par exemple, le fait d'être né en ville, la personne se sent habituée au bruit urbain contrairement à une personne qui vient d'un milieu rural (synonyme de calme), celui-ci ne pourra qu'à la longue s'habituer, comme il ne pourra pas.

Ce qui est important de retenir c'est que ces deux niveaux d'adaptation perceptuelle se déroulent d'une manière involontaire, voire inconsciente contrairement à l'adaptation comportementale qui est un processus actif.

4.8.2. Adaptation comportementale

Elle concerne deux sortes d'action : l'une sur l'environnement, l'autre sur le comportement (les habitudes).¹³

- Sur l'environnement ; c'est lorsque l'environnement physique nous offre la possibilité d'ajuster les conditions défavorables afin de les rendre favorables. Selon Vischer (1989) « les gens sont à la recherche du confort dans leur environnement, ils changent l'environnement et l'adaptent lorsqu'ils peuvent ; ou s'y adaptent lorsqu'ils ne peuvent pas »(Vischer, 1989).

- Sur le comportement ; en deuxième lieu, en agissant sur nos propres habitudes d'une manière soit soustractive (lorsqu'il fait chaud on s'habille moins), soit additive (on s'habille plus, lorsqu'il fait froid).

Enfin, selon Bonnet, C. (1993), on parle d'adaptation environnementale lorsqu'il y a équilibre, lorsqu'un terrain d'entente est établi entre les attentes et le facteur environnemental. Mais dans le cas contraire, l'équilibre échoue et un des aspects physique ou psychologique est sacrifié, cela serait observable par des états négatifs de santé et/ou mentale(Bonnet, C, 1993).

Cette partie d'étude nous aidera dans notre enquête pour l'évaluation du degré d'adaptation et ce, en fonction de la modification envisagée ou apportée - si elle existe - à l'espace vécu en vue de l'adapter aux besoins. Dans le cas où ces modifications n'existent pas. Cela sera justifié par les deux manières suivantes :

- Soit, les habitants sont satisfaits de leur environnement (Ils n'ont pas besoin d'apporter de changement à cet égard).

- Soit, les habitants sont insatisfaits, mais ces modifications ne peuvent avoir lieu, car l'environnement physique n'offre pas la possibilité. Dans ce cas, ils vont se contenter d'agir sur leur propre comportement afin de s'adapter à la situation.

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté la problématique de la relation de l'homme à son environnement d'une façon globale, on a fait appel ainsi à l'apport de la psychologie de l'environnement dans ce domaine. Nous avons abordé les différentes théories relatives à l'environnement ainsi que quelques concepts fondamentaux concernant la perception et l'évaluation environnementale. Nous nous sommes rendu compte de l'influence des facteurs environnementaux sur les comportements des individus et sur le déroulement de leurs activités. Cette influence se distingue donc suivant les expressions; perception, comportement et usage de l'espace rend à l'évidence de la nécessité d'opter pour un aspect subjectif, fonction du « ressenti » de l'individu et les ressources dont il dispose pour se

¹³Cité dans Chabane. I. (2006), évaluation de la qualité vécue des environnements hermétiques. p. 39

mettre en interrelation avec l'environnement vécu et qui exprime ainsi son degré de control (se protéger ou en profiter).

A cette étape de l'étude, nous avons tenté de définir les principaux processus d'interaction entre l'homme et son environnement physique. Ces processus nous serviront d'indicateurs théoriques, nécessaires à la construction de l'outil d'enquête dans l'évaluation de la qualité vécue des habitations traditionnelles en pisé. Ils nous permettront, surtout, de comprendre et interpréter les réactions des occupants à l'égard de l'environnement enquêté.

La prochaine étape consiste à étudier la perception des individus à l'égard de leur environnement vécu : dans notre cas, les habitations traditionnelles en pisé, au village de AIT ITCHIR. Elle nous permettra de prendre connaissance des lignes saillantes du niveau de satisfaction par rapport aux besoins physiques et psychologiques des occupants.

5. Chapitre V : perception des habitations en pisé : cas du 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).

5.1. 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 50 : *Situation de la zone d'étude. Région centre de l'Atlas Tellien*



Figure 51 : *vue aérienne du village Ait Itchir (googleearth, 2009)*

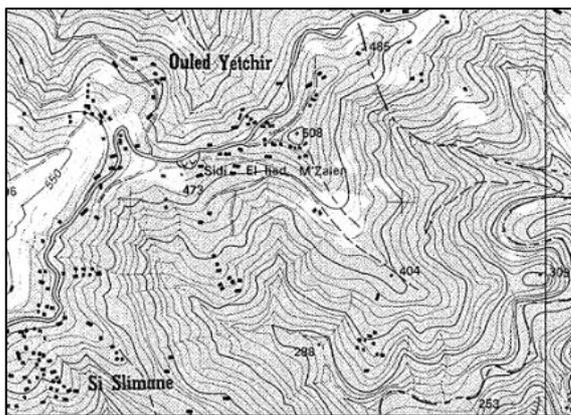


Figure 53 : levé photogramétrique du village Ait Itchir (Carthographie, 1987)

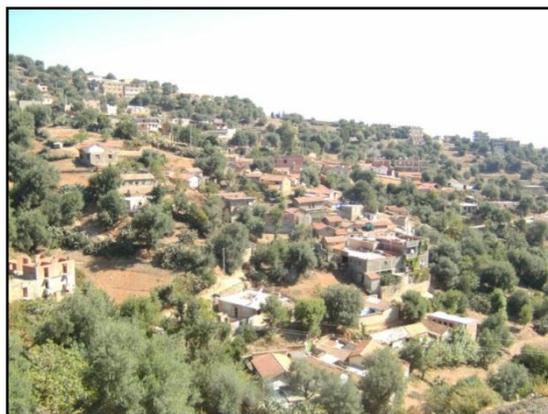


Figure 52 : vue sur une partie du village (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)

5.2. Le principe de conception des maisons kabyles traditionnelles

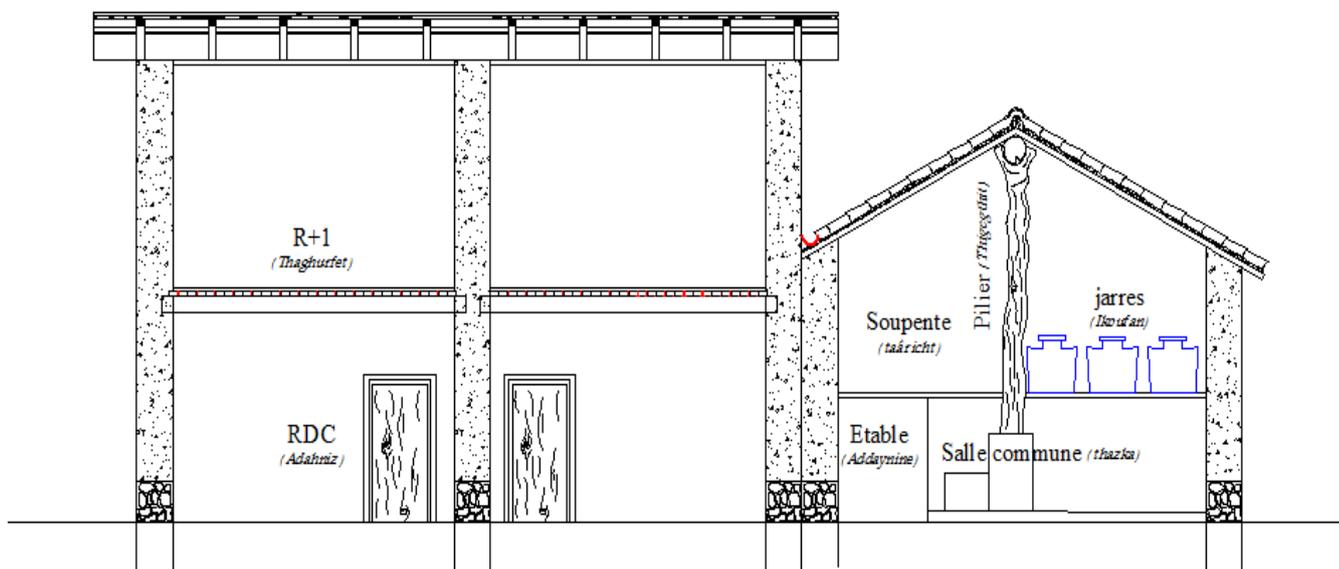
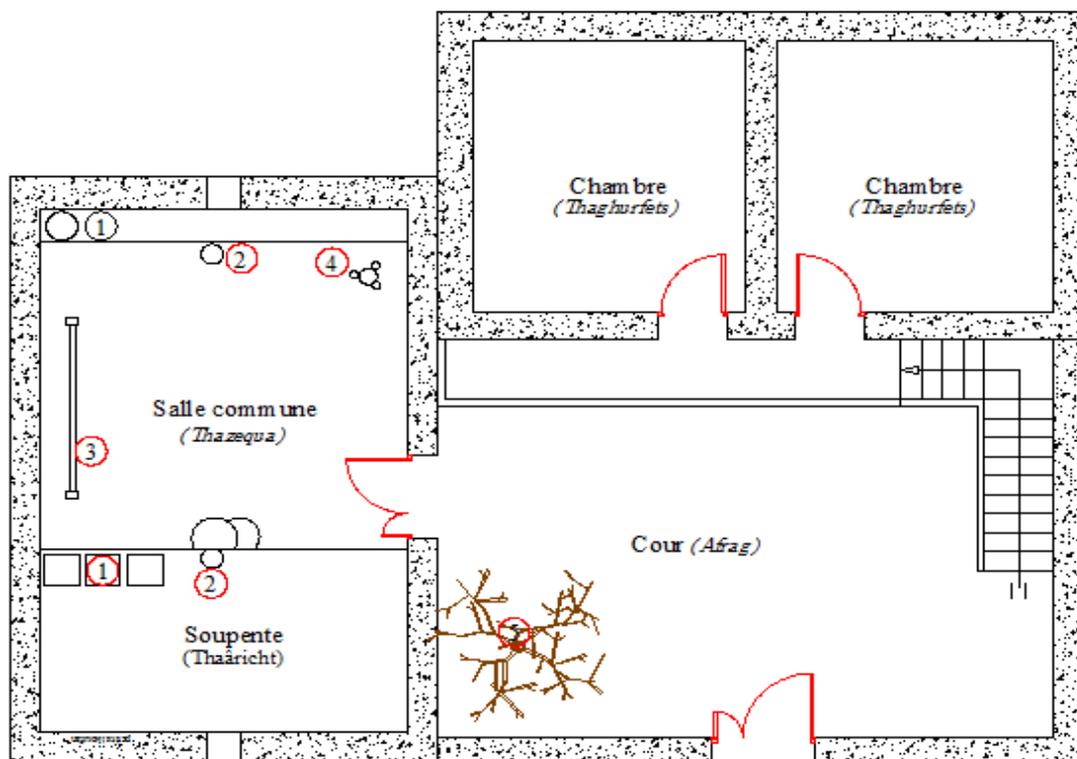
Dans cette partie, nous faisons référence au travail de partenariat fait par MEDA Corpus Euromédhéritage (2001) et publié sous forme de CD.

Les maisons de la Kabylie occupent en général une crête, un plateau ou un versant (MEDA Corpus, Euroméd 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 (Figure 54).



Légende

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

Figure 54 : *plan et coupe d'une maison type (S. Salmi)*

5.3. Les procédés constructif

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.

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.



Figure 55 : mur en pisé sans enduit (S.Salmi.Ait Itchir, nov2010)

Monter le coffrage (Ilouh), 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 enfila 8 baguettes qui permettent de fixer le cadre et de régler l'épaisseur du mur.

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).

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 (Figure 56).

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.

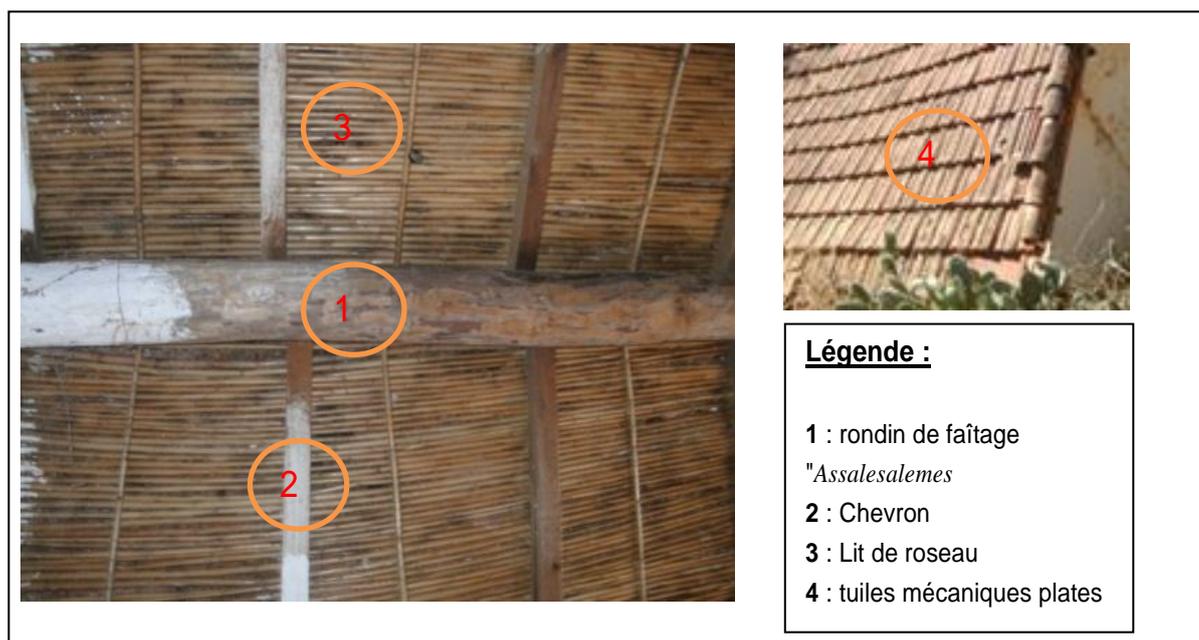


Figure 56 : composition de la toiture (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)

5.4. Méthodologie de la recherche

Comme nous avons vu dans le chapitre précédant, la perception de l'espace est une notion subjective propre à chaque habitant, pour l'appréhender nous avons recouru aux méthodes d'enquête qui nous ont permis de faire sortir les différents éléments qui contribuent à produire l'image des habitations traditionnelles en pisé. L'enquête exploratoire réalisée au début de la recherche, va permettre la reconnaissance du terrain d'investigation. L'enquête de diagnostic (Grawitz, 1990) par interview nous offre l'opportunité de se rapprocher des habitants pour vérifier nos hypothèses.

5.4.1. La préenquête

Au cours de cette phase de préenquête, on a utilisé des entretiens dits "exploratoires" pour la collecte systématique de données. Il s'agit de données qualitatives recueillies par l'interrogation d'individus sur leur appréciation des habitations en pisé.

Plan de l'entretien exploratoire

Dans l'entretien exploratoire, nous avons interrogé des individus isolément afin de récolter des informations de type qualitatif. Cet entretien exploratoire a une finalité plus proprement méthodologique : elle constitue en effet une étape préalable à la construction de tout questionnaire d'enquête (Chauchat, 1985) que nous adoptons dans notre étude car elle apporte les informations suivantes :

- **Recherche d'indicateurs** : à travers des comportements observables, l'entretien exploratoire permet de compléter et d'enrichir l'élaboration d'indicateurs par analyse théorique.
- **Répertoire d'éventail d'attitudes** : pour la construction des questions à choix multiples (questions en éventail), les entretiens exploratoires permettent le repérage des réponses possibles.
- **Informations d'ordre lexical et sémantique** : elles permettent de réaliser une analyse du langage utilisé par la population parente, que ce soit au niveau des termes d'usage courant ou au niveau du sens accordé aux mots.

Les caractéristiques de cet entretien exploratoire sont :

- **Attitude peu directive** : ces entretiens comportent peu de questions précises car ils doivent permettre de recueillir des données nouvelles et d'explorer des voies imprévues.
- **Effectif restreint** : 10 à 15 entretiens suffisent car il ne s'agit pas de recueillir des données pour une exploitation systématique et constituer des résultats d'enquête; bien au contraire, il s'agit de procéder à des investigations ponctuelles aussi variées que possible.
- **Echantillon d'unités types appartenant à la population parente** : cela dépend des différents axes d'exploration qui permettent d'organiser la population parente en unités types selon les facteurs d'appartenance.

Le plan d'entretien est l'ensemble des thèmes que l'on souhaite explorer et l'ensemble des stratégies d'intervention du chercheur. Son principal outil est le "guide d'entretien" qui à son tour est « un ensemble organisé de fonctions, opérateurs et indicateurs qui structurent l'activité d'écoute et d'intervention de l'interviewer » (Blanchet & Gotman, 1992). Ce guide d'entretien consiste principalement à :

- La formulation d'une consigne initiale, introduisant le thème globalement.
- La préfiguration d'axes thématiques.(Blanchet & Gotman, 1992).

Dans notre guide d'entretien, une première consigne, adressée aux individus interrogés, a permis de présenter le thème général de l'entretien et elle a consisté à nous introduire en tant qu'étudiante en architecture menant une recherche sur l'architecture traditionnelle en terre. Les consignes suivantes (les axes thématiques), portent sur des aspects particuliers de notre thème en demandant aux interlocuteurs ce qu'ils pensent sur leurs habitations en pisé, puis d'émettre des souhaits de changement ou modification dans leurs habitations.

L'entretien permet à l'habitant de s'exprimer sur les caractéristiques de son habitation réalisée en pisé. De cet entretien, se dégageront les éléments qui constituent la base du traitement. Au cours de l'entretien, l'enquêteur ne doit pas orienter les habitants sur tel ou tel aspect de l'architecture, car un questionnement fermé les orienterait vers des éléments qu'ils n'auraient pas perçus sans l'enquêteur

Collecte des données

Cette préenquête s'est déroulée durant la journée du 25 Novembre 2010. Les entretiens avec les habitants des constructions en pisé se sont effectués tout au long de la journée. Au total 11 entretiens de foyers différents ont été enregistrés.

L'abord a été effectué d'une manière directe (en face à face) avec les personnes concernées rencontrées dans leurs maisons. La plus part des sujets (11 personnes de ménages différents), occupant les habitations en pisé ont tous déclaré qu'ils souhaiteraient construire de nouvelles maisons "modernes"

L'enregistrement des discours a été effectué par une prise de note manuscrite, simultanée au discours de l'interlocuteur.

Analyse de contenu

La grande difficulté de l'entretien réside dans son analyse qui « doit comprendre une élucidation de ce que les questions du chercheur, la relation d'échange et le cadre de l'entretien induisent dans les propos de son interlocuteur »(Quivy & Campenhoudt, 1988). L'ensemble des propos produit par l'échantillon des interlocuteurs construit "un corpus". L'analyse thématique de contenu se déroule en deux temps : en premier, la catégorisation thématique ou construction de la grille d'analyse, et en second l'interprétation des données(Chabane, 2006).

Construction de la grille d'analyse

La construction de la grille thématique consiste à établir des catégories thématiques afin de structurer le contenu des entretiens en informations exploitables. Elle se déroule comme suit :

- Lecture des entretiens un par un (connaître le corpus) ;
- Identification des thèmes à partir des hypothèses de départ ; puis reformulation de ces thèmes, suite à la lecture des entretiens ;
- A partir des thèmes, construire une "grille d'analyse" stable pour tous les entretiens, qui doit être autant que possible, hiérarchisée en thèmes principaux et secondaires de manière à structurer le mieux possible l'information obtenue. Une fois ces catégories, elles doivent : refléter la problématique et les intentions de recherche par leur pertinence; être exhaustive et permettre de faire figurer tout le corpus dans la grille ; et être exclusives de manière à ce qu'un contenu ne puisse correspondre qu'à une seule catégorie.

Dans notre analyse, la structuration, ou la découpe du corpus a été effectuée en deux parties :

- La première correspond aux principaux thèmes, structurés en fonction du caractère physique ou psychologique des informations recueillies ;
- La seconde plus empirique correspond à tous les sous-thèmes apparus à l'issue de la première partie. La pertinence de cette structuration réside dans le fait qu'elle met en évidence toutes les informations, même les moins fréquentes.

Nous avons abouti à une "grille d'analyse" constituée de deux tableaux, un premier concernant les souhaits émis par les interlocuteurs sur les modifications qu'ils souhaitent apporter à leurs maisons (Tableau 7); et un second tableau qui regroupe les avantages et les inconvénients décrits dans ces maisons.

Tableau 7: Grille thématique de l'analyse de contenu-Souhaits de changement

Souhaits	
D'ordre général	Construire de nouvelles maisons
D'ordre spécifique	Consolidation
	Réhabilitation
	Réorganisation spatial

Tableau 8 : Grille thématique de l'analyse de contenu-Avantages et Inconvénients.

		Habitation en pisé	
Inconvénients	Physiques	matériau	Faible résistance mécanique
			Sensibilité à l'eau
			vétusté
			Aspect extérieur infini
			insalubrité
			Difficulté d'entretien
		Configuration spatiale	
	Psychologiques	insécurité	
		insatisfaction	
Privation			
Avantages	Physiques	Matériau	Température modérée
			Durabilité
			Confort acoustique
	Psychologiques	Nostalgie	
		Bien-être	
		Tranquillité	

Analyse des données (Annexe C- Tableau 13)

Dans le cadre exploratoire de cette préenquête, toute information émise par les interlocuteurs, en relation directe avec les objectifs de la recherche, est une donnée pertinente, indépendamment de sa fréquence de citation.

Les données (fragments de discours) sont organisés sous forme de tableaux (Annexe-C), et sont discutées et interprétées par thème et sous-thème. En correspondance avec les principaux axes thématiques du plan d'entretien, ces données sont organisées en deux sections : l'environnement actuel, et les souhaits.

Cette section concerne l'évaluation, par les habitants, de leurs maisons en terre, Elle comporte les inconvénients physiques, esthétique et psychologiques dont ils se plaignent et éventuellement des avantages pour lesquels ils sont satisfaits. Concernant les inconvénients physiques, ils sont liés à certains aspects du matériau et à la configuration spatiale des habitations ainsi qu'à l'état général des constructions.

a) Inconvénients physiques :

Concernant la résistance du matériau, les occupants des maisons en pisé se plaignent de la fragilité du matériau et des fissures engendrées par le séisme ou par le vieillissement des structures " *Ce n'est pas solide, ça se fissure facilement, et ne résiste pas au séisme*" et que " *La terre a une durée de vie limitée*" certains réagissent en couvrant les fissures avec un enduit au ciment.

Les habitants se plaignent de la sensibilité à l'eau des murs en pisé, accentuée par l'absence de la protection des hauts des maisons " *Lors des pluies, on a peur que ça flambe*" et " *Il y a de la terre qui tombe du plafond en temps pluvial* " auquel ils réagissent en couvrant le toit par des toiles, " *On a mis de la toile sur le toit pour que la pluie ne pénètre pas* "

L'agressivité de ce phénomène semble être justifiée par la mauvaise mise en œuvre des toits en tuile et l'absence des soubassements et des chapeaux débordants sur le haut des murs.

Pour la difficulté de restauration, les occupants se plaignent de l'absence des techniques, et l'incompatibilité avec les nouveaux matériaux " *Ce n'est pas compatible avec l'enduit au ciment, ça décolle*" d'autres jugent qu'il n'y a pas de remède aux pathologies apparentes, " *rien à faire, il faut démolir*"

Les habitants se plaignent de l'insalubrité de leurs maisons disant que " *ce n'est pas propre il y a beaucoup de poussière*" et " *il y a beaucoup d'insectes* "

La majorité des habitants se plaignent d'une manière général du fonctionnement de leurs maisons, spécifiant qu' " *Il manque la cuisine et les sanitaires*", et " *La cour est exposée au soleil et à la pluie, ça dérange*" ce facteur est justifié par le changement de mode de vie " *il n'y a pas mieux qu'une maison moderne et fermé* "

Ce facteur n'a pas été le centre d'intérêt de notre étude.

b) Inconvénients esthétiques :

L'un des habitants se plaint de l'aspect du matériau disant que " *ce n'est pas beau*"

c) Inconvénients psychologiques

D'une manière globale, les interlocuteurs suscitent une insatisfaction à l'égard de leurs habitations exprimé à travers un état d'insécurité et de privation : " *Ce sont de vieilles maisons, on a peur qu'elles ne s'effondrent* ", et " *On ne vit pas, c'est pénible, surtout pour la femme, c'est elle qui doit entretenir la maison*".

D'une manière spécifique, les interlocuteurs attribuent des états psychologiques négatifs à des facteurs physiques précis, tels que le manque d'espace, la vétusté des structures, et la difficulté de l'entretien.

d) Avantages physiques

Quelques habitants dont les maisons sont mixtes (l'ancienne maison en pisé avec extension en béton armé) associent leur satisfaction environnementale à l'égard de leurs anciennes maisons aux caractéristiques thermiques du matériau : *"Les anciennes maisons sont mieux que les nouvelles, elles sont plus chaudes en hiver"*.

Un interlocuteur perçoit que la maison en pisé est agréable à y vivre si on parvient à régler le problème de solidité il dit : *"des murs en pisé consolidés avec des piliers et du ferrailage ça sera impeccable, c'est climatisé : frais en été et chaud en hiver"*.

Pour la possibilité de réhabiliter les maisons en pisé, un interlocuteur dit que *"J'aimerais bien y rester à condition que notre maison soit bien entretenue : il faut mettre du carrelage et du faux plafond"*.

e) Avantages psychologiques

Les interlocuteurs évoquent leur nostalgie à l'égard de ces constructions disant que *"C'est un patrimoine que nos aïeux nous ont laissé, et qu'on doit sauvegarder, un savoir-faire qui témoigne de notre existence. Je préfère y rester à condition que la maison soit bien entretenue"* et *"ce sont les traces des ancêtres"*.

f) Souhaits de changements ou modifications

Concernant les souhaits, ils sont classés comme suit :

- D'ordre général, portant sur le changement des maisons en pisé par d'autres plus modernes que l'on voudrait habiter.
- D'ordre spécifique, portant sur la modification de l'un des aspects physiques ou esthétiques.

Dans les souhaits d'ordre général, il apparaît que les occupants réclament de nouvelles maisons, plus modernes, plus saines et plus solides : *"Je veux construire une nouvelle maison"*.

Quant aux souhaits d'ordre spécifique, ils concernent en majorité, la réhabilitation des maisons : consolidation des structures, intégration d'autres espaces (cuisine, sanitaires), couverture de la cour, réalisation de faux plafond et carrelage...

Le confort psychologique manifesté est le sentiment de sécurité.

Résultats de la préenquête

Cette première étape de la recherche met en évidence différentes réactions des occupants à l'égard de leurs habitations. Ces réactions peuvent être de nature positive ou négative, et concerner l'environnement dans sa globalité, ou des facteurs environnementaux spécifiques. A l'issue de cette préenquête, la plupart des personnes qui ont répondu à notre entretien semblent globalement insatisfaits de leurs maisons en terre, et spécifiquement insatisfaits de certains aspects physiques. L'état d'insatisfaction semble être accentué par le sentiment d'insécurité qu'éprouvent les répondants, et qu'ils attribuent directement aux caractéristiques physiques et mécanique du matériau pisé.

5.4.2. L'enquête

Structuration de l'enquête

La préenquête avait pour objet de déterminer «sur quoi interroger». Mais comment traduire les indicateurs en question et les formuler. La construction du questionnaire est, donc, une nécessité dans le cadre d'une enquête, et la mise au point d'un questionnaire fiable et valide demande un travail attentif et scrupuleux (Berthier, 1998).

Notre enquête est structurée autour de deux objectifs principaux :

- Le premier tente de recueillir les appréciations globales des usagers sur leurs habitations en pisé. Il représente la partie subjective de l'enquête.
- Le second objectif tente de recueillir l'état du bâti des constructions en pisé à travers l'observation des pathologies. Il représente la partie objective de l'enquête.

Dans le premier objectif, nous faisons référence au travail réalisé par GRECO-EAT et EAPB : Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines. Dans son approche, les enquêtes visent à appréhender la satisfaction environnementale d'usagers d'espaces publics urbains. Pour cela, ils ont élaboré un entretien semi-ouvert où les personnes rencontrées avaient à s'exprimer sur le caractère agréable et désagréable du lieu. Les éléments énoncés par les usagers ont constitué la base des traitements. Les données sont interprétées et mises en relation avec les données objectives recueillies sur site. Les objectifs de cet entretien se résument en quatre points (Greco-Eat et Apb, 2002):

- Les éléments environnementaux les plus prégnants dans le discours
- Les éléments contribuant à la satisfaction ou l'insatisfaction dans l'espace.
- Les attentes ou souhaits en matière d'amélioration de l'environnement
- Les éléments descriptifs de l'environnement.

Cette classification nous permet de trier les éléments perceptifs des habitations en pisé.

Pour le deuxième objectif nous faisons référence au travail réalisé par N. Kebaili : dans son évaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région des hauts plateaux, ou le diagnostic architectural constitue la partie objective du travail. Pour ce faire il a adapté une méthode préconisée par le CNERIB. Le diagnostic architectural englobe :

- la fiche de diagnostic qui relève les pathologies et leurs localisations dans les bâtiments.

- la fiche de conformité architecturale qui relève le respect ou le non-respect de règles de bonne conception architecturales des bâtiments en terre.
- La fiche de l'enquête sur l'usage, qui relève le comportement de l'habitant.

Pour vérifier notre deuxième hypothèse, l'observation de l'état du bâti va constituer la partie objective de l'enquête.

Conception du questionnaire

Notre enquête vise à appréhender la perception des usagers à l'égard de leurs habitations en pisé. Pour cela, nous avons élaboré un entretien constituées de trois parties :

- Une partie ouverte qui a pour objectif de recueillir les appréciations globales des usagers sur leurs habitations en pisé, leurs besoins, il était important d'obtenir les aspects agréables et désagréables décrits spontanément. C'est pourquoi l'enquêteur ne doit pas orienter les habitants sur tel ou tel aspect de l'architecture, car un questionnement fermé les orienterait vers des éléments qu'ils n'auraient pas perçus sans l'enquêteur. A travers les questions ouvertes, nous cherchons à vérifier la part du matériau dans l'évaluation des habitants de leur environnement vécu. Nous recueillons, ainsi, leur perception de l'espace et l'importance qu'ils accordent au matériau dans leur appréciation des habitations en pisé.

- Dans la deuxième partie de l'entretien, le thème a été imposé aux interviewés, cette partie renferme les questions à choix ferme, c'est une partie qu'on qualifie de « directive », car elle canalise l'interview vers des thèmes que nous avons établis au préalable. Toutefois il est important de signaler que l'entretien directif par les consignes inaugurales devrait rester non directif, dans le sens où on fait recueillir les réponses tout en laissant à l'interviewé la possibilité de nuancer ses réponses, de les justifier ou de les commenter. « Un cadre d'investigation précis et préétabli n'est pas incompatible avec la possibilité de s'exprimer librement, voire spontanément »(Chauchat, 1985). Les questions fermées portent sur les aspects physiques quant à l'évaluation spécifique, elle est essentiellement focalisée sur les facteurs physiques issus de la préenquête et visent à vérifier l'influence de l'état du bâti et degré de connaissance du matériau sur la perception qu'en ont les usagers.

- La partie signalétique du questionnaire nous renseigne sur les tranches d'âge, le sexe, la date, l'heure exacte et l'emplacement du déroulement de l'enquête.

Certaines de ces données sont utiles pour identifier l'impact des facteurs personnels sur la perception et l'appréciation des habitations en pisé.

Le tableau suivant récapitule les objectifs de chacune des questions posées dans la partie ouverte du questionnaire :

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des questions posées et objectifs

<u>Questions posées</u>	<u>Objectifs</u>
<u>Question 1</u> Que pensez-vous de votre maison ?	Appréciation globales des habitations en pisé
<u>Question2</u> Qu'est ce qui est le plus agréable dans votre maison ?	Les éléments contribuant à la partie positive de perception
<u>Question3</u> Qu'est-ce qui ne l'est pas* ?	Les éléments contribuant à la partie négative de la perception?
<u>Question4</u> Votre maison à plusieurs composants que sont-ils ?	Les attentes et souhaits pour l'amélioration des habitations
<u>Question5</u> Qu'est-ce qui manque ?	
<u>Question6</u> Que faut-il faire pour qu'elle vous plaise entièrement ?	Les éléments recherchés pour l'amélioration des habitations en pisé.

Les données sont interprétées et mises en relation avec les données objectives de l'enquête qui porte sur l'observation de l'état du bâti.

Collecte des données

L'échantillon

L'échantillon représentatif, était constitué de 110 sujets (ménages), avec un taux de représentativité de 100%. Mais finalement l'échantillon réel, à l'aboutissement de l'enquête, était constitué de 83 sujets, avec un taux de représentativité global de 75%. L'abord a été effectué d'une manière directe (en face à face) avec les personnes concernées rencontrées dans leurs habitations. Nous avons veillé à ce qu'il y est un équilibre entre le nombre des femmes et hommes interviewés. Toujours dans un souci d'atteindre un échantillon qui soit représentatif de la population parente nous avons essayé tant bien que mal de toucher un peu à l'ensemble des catégories d'âge (jeune, adulte, vieux,...etc.) (voir tableau 10)

Tableau 10: Tableau récapitulatif des caractéristiques personnelles des usagers interrogés

variable	échantillon			total
	Sous variable	nombre	pourcentage	
genre	féminin	51	61%	100%
	masculin	32	39%	
Tranche d'âge	Moins de 18 ans	3	4%	100%
	18-30	14	17%	
	30-45	25	30 %	
	45-60	29	40%	
	Plus de 60 ans	12	14%	
profession	chômeur	19	23%	100%
	commerçant	4	5%	
	étudiant	7	8%	
	Femme au foyer	34	41%	
	fonctionnaire	11	13%	
	retraité	8	10 %	

Moyens et conditions de collecte.

La collecte des données avec questionnaire s'est déroulée durant la période allant du 1 au 15 novembre 2012, une période pendant laquelle nous avons compté 83 questionnaires pour 15 jours de collecte effective, soit une moyenne de cinq à six questionnaires par jour. La durée de l'entretien était d'environ 20 à 30 minute pour chaque interviewé, une durée qui nous a permis d'apporter certains éclaircissements quant aux questions présentant certaines difficultés liées au contenu ou aux termes utilisés.

La technique du questionnaire présente la difficulté de s'appuyer exclusivement sur le langage, celui du chercheur et ceux des diverses catégories d'enquêtés. De ce fait, nous travaillons uniquement sur un discours verbal, ce qui pose le problème du sens et de l'interprétation. Les autres difficultés sont liées à la formulation des questions et à l'analyse du contenu des réponses.

On reconnaît aussi d'autre inconvénient liés aux réponses qui peuvent être influencées par l'attitude de l'enquêté à donner une image favorable ou défavorable des habitations en pisé aux yeux de l'enquêteur.

Traitement des données

Pour rendre les données recueillies analysables, nous avons réalisé un travail de codage des réponses (extraits) des interviewés en vue de la constitution d'une base de données servant au traitement des réponses recueillies avec outil informatique. Nous avons opté pour une analyse statistique sur le logiciel « Excel » permettant le croisement des données, et le

calcul de la fréquence de distributions des différentes valeurs de chaque variable (âge, sexe...etc.).(Figure 57)

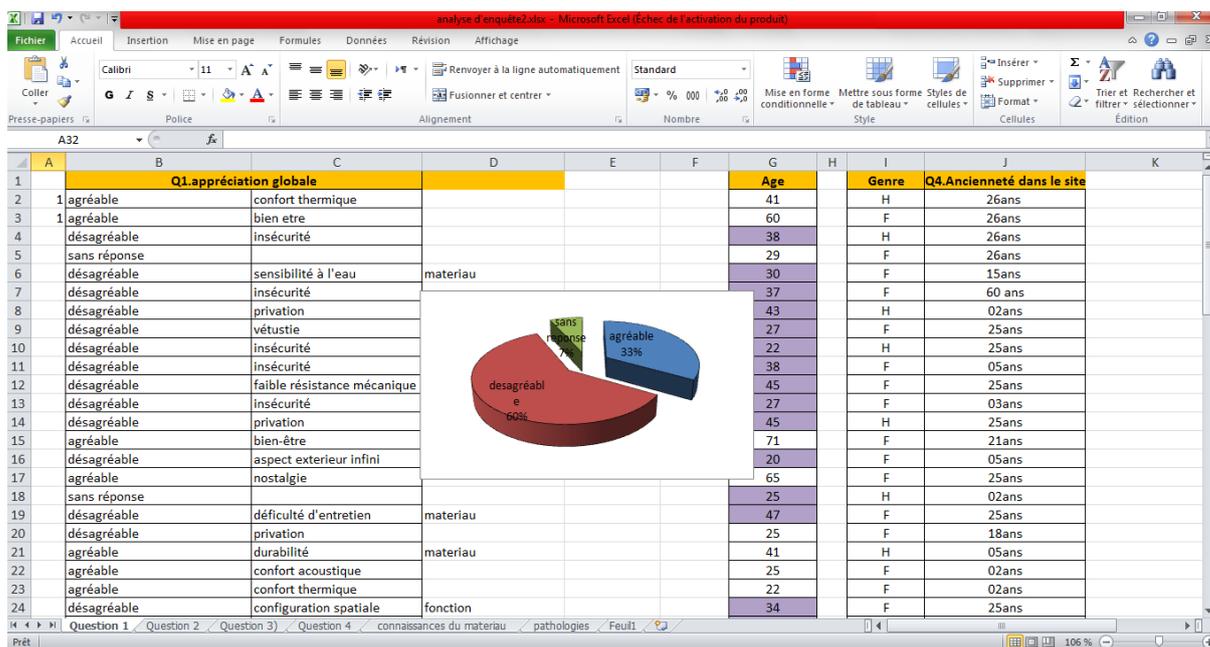


Figure 57: le traitement des questionnaires par "Excel"

Appréciation globale des habitations en pisé

Dans cette section les réponses à trois question sont analysées ; la première étant ouverte (Que pensez-vous de votre maison?), la deuxième et la troisième sont à choix fermé (Qu'est ce qui est le plus agréable dans votre maison ? Qu'est-ce qui ne l'est pas?)

L'appréciation globale des habitations se lit à travers les aspects évoqués par les usagers comme agréables ou désagréables de l'environnement vécu.

L'analyse statistiques des discours recueillis et le croisement des données par rapport aux caractéristiques personnelles nous a permis d'observer l'influence des paramètres les plus significatifs vis-à-vis de la perception des habitations en pisé.

Certains habitants ont porté un jugement sur tel ou tel aspect de leurs habitation et ont fait une évaluation globale positive ou négative, c'est la dimension cognitive de la perception, d'autre exprime une sensation, c'est la dimension affective de cette perception .

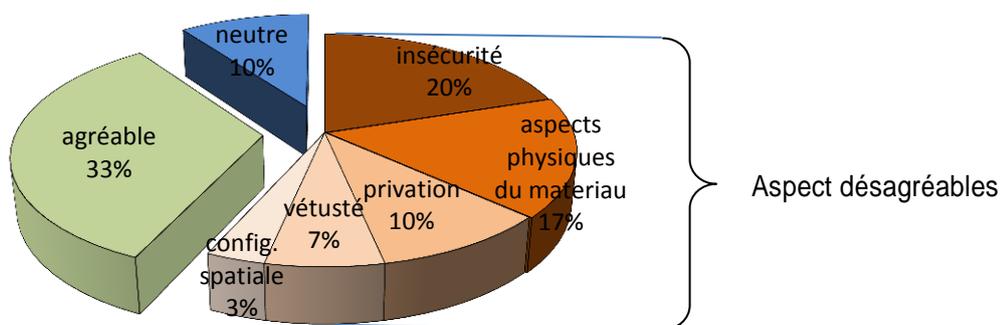


Figure 58 : appréciation globale des habitations en pisé

57 % des habitants rencontrés font une évaluation négative. 10 % sont neutre et 33 % évaluent positivement leurs habitations.

Le ressenti

Cette enquête nous a permis de recueillir quatre types de sensations exprimé dans le tableau suivant ;

Sensation	définition	extrait
Le bien-être	c'est l'état agréable qu'exprime l'habitant (tranquillité, calme, nostalgie...)	J'aime bien notre maison
le mal-être	C'est l'état désagréable qu'exprime l'habitant (désespoir, difficultés,	C'est misérable
L'insécurité	Une expression de peur de quelque chose (la peur, le risque...)	J'ai peur que la maison ne s'effondre
La privation	Une expression des besoins non satisfaits (la pauvreté, le besoin...)	On n'a pas une salle de bain

1. La satisfaction

La satisfaction à l'égard des habitations se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence positive, ceci concerne essentiellement les paramètres suivants :

- **Le confort thermique** : avec une fréquence de 47 % semble constituer l'élément le plus cité en terme de satisfaction à l'égard de habitations en pisé.

- **L'aspect économique du matériau** : 23 % des habitants évoquent le côté économique de, la réalisation des habitations en pisé nécessite un coût minime car c'est un matériau local.

- **Le confort acoustique** : le confort acoustique est évoqué par 13 % des usagers.

- **La durabilité du matériau** : 10 % des habitants trouve que le pisé est un matériau durable du fait que leurs constructions ont surmonté le temps.

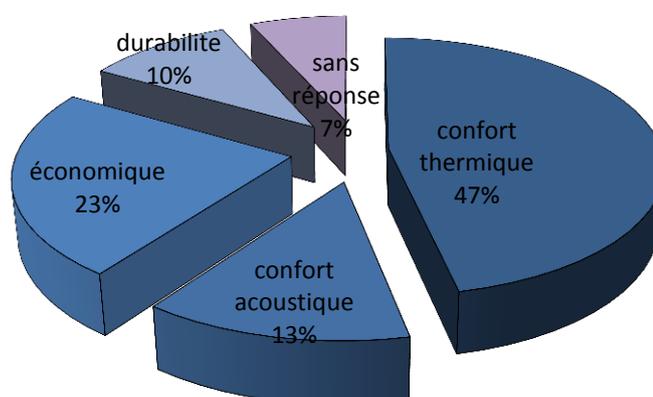


Figure 59 Aspects positifs des habitations en pisé

2. L'insatisfaction

L'insatisfaction à l'égard des habitations en pisé se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence négative, elle concerne essentiellement les facteurs suivants :

Le matériau : 30 % des usagers associent leur insatisfaction à la vulnérabilité à l'eau et au séisme du matériau terre ;

L'état du bâti : 23 % des habitants évoquent l'état dégradé de leurs constructions, les fissures les taches d'humidité et les désordres ;

Le fonctionnement : 17 % des habitants le nombre de pièces, leurs destinations et leurs distributions ;

L'équipement : 13 % des habitants évoquent le manque des réseaux gaz, AEP et assainissement ;

La forme : la composition volumétrique des constructions en pisé constitue 10% des éléments contribuant à la partie négative de la perception.

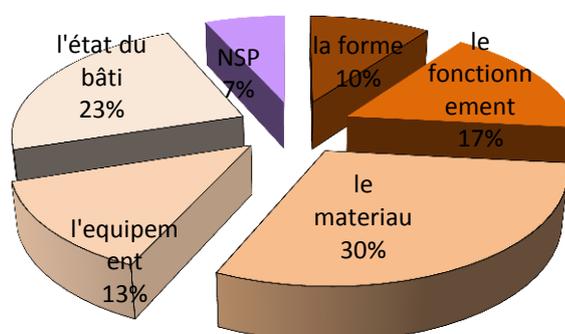


Figure 60 Aspects négatifs des habitations en pisé

Les attentes des usagers

En terme d'attente vis-à-vis des habitations en pisé, 30 % des usagers aborde le problème d'infiltration des pluies à l'intérieur de leurs habitations, et optent pour une bonne toiture, 22% veulent une réhabilitation de leurs habitations, 15 % des usagers expriment leurs attentes en faisant référence aux maisons "modernes" : il exprime leurs souhaits d'extension en rajoutant des nouveaux espaces : salon, cuisine, salle de bain. 11 % souhaitent enduire leurs constructions au ciment, et 4% des habitants veulent du carrelage pour le sol de leurs maisons.

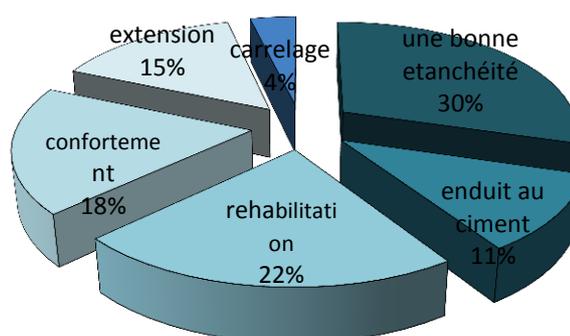


Figure 61 les attentes des usagers

Caractéristiques personnelles des usagers :

Dans le chapitre précédent, nous avons observé l'influence des caractéristiques personnelles sur la préférence et la satisfaction environnementale. Sont présentées ci-dessous les critères d'âge, du genre et de la fonction, associés à l'appréciation globale des usagers à l'égard des constructions en pisé.

Tableau 11 : Caractéristiques personnelles des usagers*

Caractéristiques personnelles		Sensation agréable	Sensation désagréable	neutre	total
genre	féminin	6 (12%)	34 (67%)	11 (22%)	51 (100%)
	masculin	11 (34%)	11 (34%)	10 (31%)	32 (100%)
âge	moins de 18 ans	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	3 (100%)
	18-30	2 (14%)	11 (79%)	1 (7%)	14 (100%)
	30-45	3 (12%)	4 (16%)	18 (72%)	25 (100%)
	45-60	5 (17%)	20 (69%)	4 (14%)	29 (100%)
	Plus de 60 ans	9 (75%)	2 (17%)	1 (8%)	12 (100%)
fonction	chômeur	0 (0%)	15 (79%)	4 (21%)	19 (100%)
	commerçant	1 (25%)	2 (50%)	1 (25%)	4 (100%)
	étudiant	1 (14%)	4 (57%)	2 (29%)	7 (100%)
	Femme au foyer	8 (24%)	23 (68%)	3 (9%)	34 (100%)
	fonctionnaire	2 (18%)	5 (45%)	4 (36%)	11 (100%)
	retraité	7 (80%)	1 (20%)	0 (0%)	8 (100%)

Le genre : les femmes sont plus négatives que les hommes vis-à-vis de leurs constructions en pisé, cela peut se justifier par la responsabilité des femmes quant à l'entretien de leurs maisons et une disponibilité plus grande.

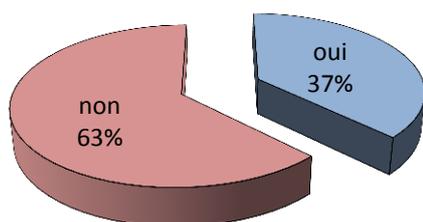
L'âge : nous pouvons remarquer que les plus âgés (les personnes ayant plus de 60 ans) sont plus positifs que les autres tranches d'âge. Cela peut être dû à ce que ces personnes sont plus attachées à la tradition. Les personnes entre 35-45 ans sont plus neutres, et les plus jeunes sont les plus négatifs.

La profession : les retraités sont les plus satisfaits globalement. Les femmes au foyer et les sans profession évaluent négativement leurs constructions en pisé.

Evaluation spécifique

Cette partie de l'enquête porte sur les aspects physiques quant à l'évaluation spécifique, elle est essentiellement focalisée sur les facteurs physiques issus de la pré-enquête et visent à vérifier l'influence de l'état du bâti et le degré de connaissance du matériau sur la perception qu'en ont les usagers.

Appréciation globale du matériau



Caractéristiques	pourcentage
Confort thermique	57%
Confort acoustique	21%
Esthétique du matériau	3%
Matériau local	65%

Figure 62 : *appréciation globale du materiau*

Parmi les personnes enquêtés, uniquement 37% trouvent des avantages d'habiter dans des constructions en pisé.

Le confort thermique et la disponibilité du matériau (matériau local) sont les deux avantages reconnus par les habitants. Cependant le confort acoustique et l'esthétique du matériau sont des avantages peu évoqués.

Observation des pathologies

L'observation des pathologies par le biais de grille et des photographies, dans le 87 maisons objet de l'enquête , montre que les désordres les plus fréquemment rencontré sont Les fissures dans 95% des cas, elles s'observent au niveau des angles et des baies .la décomposition du matériau et les taches d'humidité liées à l'eau de pluie sont observées dans 70 % des cas au niveau des toitures et des surfaces des murs. Le décollement des enduits en terre ou en ciment est observé dans 41 % des cas.L'effondrement est observé dans 13 % des cas.



Figure 63: *décollement des enduits (S.Salmi. Ait Itchir. Nov 2012)*



Figure 64: fissures au niveau des angles et des baies (S.Salmi.Ait Itchir Nov 2012)



Figure 65: taches d'humidité sur les murs(S.Salmi.Ait Itchir.Nov 2012)



Figure 66: décomposition du matériau et effondrement (S.Salmi. Ait Itchir. Nov 2012)

L'origine des désordres :

Le Tableau 12 résume les causes des désordres observés.

Tableau 12 : Les causes des désordres.

Cause	
Environnementale (climat ou autre)	47%
Le séisme	28%
Le matériau pisé	12%
L'utilisateur	19%
Plusieurs facteurs (climat, séisme, ...)	53%

L'enquête montre que 47 % des pathologies observées sont dues principalement à des effets environnementaux (pluie et vent), 28 % des pathologies ont pour cause le séisme, et 19 % la mauvaise mise en œuvre des constructions traditionnelles en pisé et le non-respect des règles de l'art de construction en terre (l'utilisateur) et à un degré moindre, à la vulnérabilité des surfaces apparentes aux agressions climatiques (matériau) de 12% ,ce qui justifie le recours des habitants à des enduits plus durables et résistants.

Conclusion

L'étude de cas présenté dans ce chapitre nous a permis de comprendre la nature des résistances psychologiques au matériau pisé, et de voir la part que revient aux caractéristiques du matériau dans cette perception.

Nous avons utilisé le programme Excel pour l'analyse statistique des discours recueillis. Le croisement des données par rapport aux caractéristiques personnelles nous a permis d'observer l'influence des paramètres les plus significatifs vis-à-vis de la perception des habitations en pisé.

L'appréciation globale des habitations se lit à travers les aspects évoqués par les usagers comme agréables ou désagréables de l'environnement vécu. Certains habitants ont porté un jugement sur tel ou tel aspect de leurs habitations et ont fait une évaluation globale positive ou négative, c'est la dimension cognitive de la perception, d'autre exprime une sensation, c'est la dimension affective de cette perception.

La satisfaction à l'égard des habitations se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence positive, les aspects positifs les plus évoqués sont : le confort thermique l'aspect économique de matériau et sa disponibilité.

L'insatisfaction vis-à-vis des habitations en pisé est comprise par rapport aux sentiments implicites qui lui sont associés : mal être ; insécurité, privation. Elle se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence négative, elle concerne essentiellement caractéristiques

intrinsèques du matériau, l'état du bâti, les le fonctionnement et la forme des habitations, et le manque de l'équipement d'infrastructure.

La forme architecturale, constitue un élément d'insatisfaction, les habitants aspirent à des constructions plus "modernes et plus belles" -selon eux-. Le fonctionnement, des maisons traditionnelles en pisé ne satisfait pas les habitants car ne réponds plus à leurs besoins en espace. A ces attentes en matière de forme et le fonctionnement des maisons habitations, s'ajoute le manque des équipements d'infrastructure qui accentue le sentiment de privation chez les habitants.

Pour l'influence des caractéristiques personnelles sur la préférence et la satisfaction à l'égard des habitations en pisé, les femmes sont plus négatives que les hommes vis-à-vis de leurs constructions en pisé, cela peut se justifier par la responsabilité des femmes quant à l'entretien de leurs maisons et une disponibilité plus grande, les plus âgés sont plus positifs que les autres tranches d'âge. Cela peut être dû à ce que ces personnes sont plus attachées à la tradition, les retraités sont les plus satisfaits globalement et les femmes au foyer et les sans profession évaluent négativement leurs construction en pisé.

La partie objective de l'enquête montre que la plupart des constructions traditionnelles en pisé souffrent de désordres et de pathologies : fissures, décollement des enduits, décomposition du matériau pisé et effondrement. Ces désordres sont dus principalement à des effets environnementaux (pluie et vent), au séisme, et à un degré moindre à la mauvaise mise en œuvre des constructions traditionnelles en pisé et le non-respect des règles de l'art de construction en terre. Vient en dernier lieu la vulnérabilité des surfaces apparentes du matériau pisé aux agressions climatiques.

6. Conclusion générale

Conclusion

Par la présente recherche, nous avons exploré une technique ancestrale de la construction en terre crue qui est le pisé, nous avons pu voir que les avantages de l'architecture de terre sont indéniables et suscitent son retour dans le domaine du bâtiment à travers le monde depuis le début des années quatre-vingt, et que les obstacles d'ordre techniques liés au matériau ou bien aux procédés de productions ne sont plus évoqués pour s'opposer aux projets de revalorisation de l'architecture de terre. Cependant, l'architecture de terre pose le problème de la perte du savoir-faire et la disparition de la majorité des mises en œuvre traditionnelles locales.

Les projets de revalorisation de l'architecture de terre à travers le monde nous ont permis de voir l'intérêt que recèle cette architecture, notamment dans le contexte actuel de développement durable. La revalorisation de l'architecture de terre permet aussi de préserver le patrimoine ancien en terre ainsi que les particularités culturelles régionales des peuples qui sont aujourd'hui menacées de disparition.

Pour le cas de l'Algérie, les expériences de revalorisation de l'architecture de terre crue n'ont pas réussi malgré les améliorations apportées au matériau terre, c'est l'idée de progrès qui rejette tout ce qui est ancien ou traditionnel. Les actions de revalorisation de l'architecture de terre s'affrontent à de nombreux obstacles, d'ordre psychologique, économique, et réglementaire. En effet, notre pays a manifesté très tôt son intérêt pour la revalorisation de l'architecture de terre mais l'échec des premières opérations qui n'ont pas réussi à surmonter l'obstacle psychologique a limité leurs effets. Les programmes de développement ne sont pas tentés par les avantages que représente l'architecture de terre. Néanmoins, l'architecture de terre connaît un regain d'intérêt dans le cadre de l'enseignement et la recherche par l'organisation des journées d'études ayant pour objectif les revalorisations de ces architectures de terre jusque-là négligées et oubliées.

Dans cette recherche nous avons exploré la technique du pisé qui redevient aujourd'hui une alternative crédible à la construction étant une technique simple et sa mise en œuvre ne nécessite que peu de moyens. Par ses propriétés techniques le pisé répond à la plupart des nouveaux enjeux de durabilité de la construction au XXI^e siècle. Il assure confort et santé aux occupants durant toute la vie du bâtiment, contribue à la diminution de l'impact environnemental du bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie, notamment en terme de maîtrise de l'énergie, et contribue à un développement local équitable.

Cette recherche nous a permis de voir que les propriétés du pisé sont aussi durables que d'autres matériaux conventionnels, et que sa vulnérabilité à l'eau n'est qu'un mythe construit sur la réalité de la perte des savoir-faire constructifs traditionnels et de la culture d'entretien. En réalité, le pisé, en tant que matériau de construction, présente une très bonne capacité de résistance à l'eau à la seule condition d'être mis en œuvre dans les règles de l'art et les constructions en pisé peuvent par conséquent répondre aux normes les plus modernes de

confort, de sécurité et de durabilité. Cependant, il est toujours possible d'améliorer la résistance des constructions en pisé par différents modes de stabilisation ou de renforcement. Dans cette optique, et depuis quelques années, de nombreuses études ont permis de mieux connaître la technique de pisé, des recherches ont permis d'adapter les techniques de mise en œuvre pour en améliorer les caractéristiques et répondre aux exigences des modes de vie contemporains.

A travers cette recherche bibliographique nous avons pu voir que les qualités physiques de la résistance et de la durabilité du matériau ne sont plus un obstacle, cependant, cette recherche a été complétée par une étude sur les relations qu'entretient l'individu avec son espace vécu, nous avons tenu à signaler les différentes approches de l'étude de la relation « individu/environnement ». Nous nous sommes concentrés sur les différentes approches cherchant à qualifier cette relation et à analyser les comportements des individus. Nous avons vu que les composantes de l'espace vécu agissent sur l'individu, sa perception, son évaluation, et ses attitudes, nous avons tenté de définir les principaux processus d'interaction entre l'homme et l'environnement physique. Ces processus nous ont servi d'indicateurs théoriques, nécessaires à la construction de l'outil d'enquête dans l'évaluation de la qualité vécue des habitations traditionnelles en pisé.

L'étude de cas nous a permis de comprendre la nature des résistances psychologiques au matériau pisé et de voir la part que revient au matériau dans cette perception.

Nous avons utilisé le programme Excel pour l'analyse statistique des discours recueillis. Le croisement des données par rapport aux caractéristiques personnelles nous a permis d'observer l'influence des paramètres les plus significatifs sur la perception des occupants.

L'appréciation globale des habitations se lit à travers les aspects évoqués par les usagers comme agréables ou désagréables de l'environnement vécu. Certains habitants ont porté un jugement sur tel ou tel aspect de leur habitation et ont fait une évaluation globale positive ou négative, c'est la dimension cognitive de la perception, d'autre exprime une sensation, c'est la dimension affective de cette perception. La satisfaction à l'égard des habitations se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence positive, les aspects positifs les plus évoqués sont : le confort thermique l'aspect économique de matériau et sa disponibilité.

L'insatisfaction vis-à-vis des habitations en pisé est comprise par rapport aux sentiments implicites qui lui sont associés : mal être ; insécurité, privation. Elle se rapporte aux facteurs exprimés avec une valence négative, elle concerne essentiellement les caractéristiques intrinsèques du matériau, l'état du bâti. La forme architecturale, et le fonctionnement des maisons traditionnelles en pisé constituent des éléments d'insatisfaction aux habitants car ne répondent plus à leurs besoins en espace. Le manque des équipements d'infrastructure accentue le sentiment de privation et leur insatisfaction.

Concernant l'influence des caractéristiques personnelles sur la préférence et la satisfaction, les femmes sont plus négatives que les hommes vis-à-vis de leurs constructions en pisé, cela peut se justifier par la responsabilité des femmes quant à l'entretien de leurs maisons et

une disponibilité plus grande, les plus âgés sont plus positifs que les autres tranches d'âge. Cela peut être dû à ce que ces personnes sont plus attachées à la tradition, les retraités sont les plus satisfaits globalement, les femmes au foyer et les sans profession évaluent négativement leurs constructions en pisé.

La partie objective de l'enquête montre que la plupart des constructions traditionnelles en pisé souffrent de désordres et de pathologies: fissures, décollement des enduits, décomposition du matériau pisé et effondrement. Ces désordres sont dus principalement à des effets environnementaux (pluie et vent), au séisme, et à un degré moindre à la mauvaise mise en œuvre des constructions traditionnelles en pisé et le non-respect des règles de l'art de construction en terre. Vient en dernier lieu la vulnérabilité des surfaces apparentes du matériau pisé aux agressions climatiques.

Les résultats nous ont permis de voir que la perception du matériau pisé est affectée par un ensemble de facteurs, autrement dit, il est perçu à travers plusieurs éléments qui sont, les caractéristiques personnelles des usagers, l'état du bâti, la forme des habitations, leur fonctionnement, et l'équipement d'infrastructure.

Nous pouvons retenir que dans une opération de revalorisation ou de réhabilitation d'un patrimoine en pisé, il est nécessaire de :

- connaître la perception de la population ciblée (les éléments, les attributs des éléments et leurs évaluations) afin de pouvoir fixer les objectifs et les moyens de les atteindre.
- Réaliser des prototypes, afin de montrer les avantages de pisé, de voir de près les difficultés qui peuvent survenir et les moyens de les surmonter, et de prendre en charge les besoins des usagers.
- améliorer l'état du bâti pour rendre les habitations moins sensibles à l'humidité, et les caractéristiques du matériau pisé afin d'offrir des surfaces plus durables (les murs, les plafonds, les toitures etc.).
- Sensibiliser la population sur les propriétés du matériau pisé et les précautions de mise en œuvre (notamment des principes de bonne conception architecturale)

Néanmoins, nous ne prétendons pas que les résultats de cette étude reflètent l'image globale des usagers sur le matériau pisé, à cause de plusieurs raisons objectives ; il s'agit notamment du nombre restreint de notre échantillon limité au minimum requis, de l'inégalité entre le nombre d'hommes et de femmes interrogés et de la délimitation de la zone étudiée.

La signification du terme "perception" qui se rapporte à des attributs positifs ou négatif d'objets en leur absence, et à la lumière des théories en psychologie de l'espace, un autre thème de recherche se dessine dans le prolongement de la présente étude : l'expérimentation sur terrain, pour proposer des solutions qui pourraient faire l'objet d'une recherche expérimentale future comme continuation de notre travail.

Enfin, nous rappelons que, «*Continuer à construire en terre, c'est aussi entretenir les différences culturelles dans la production d'un paysage architectural et urbain mondial de plus en plus banalisé par une trans-culturation architecturale et internationale. C'est aussi une manière de reconnaître les valeurs intangibles et tangibles de son patrimoine local, de son histoire, et de son identité culturelle, en grande partie exprimée par ses cultures architecturales.* » (Guillaud H. , 2002).

7. Bibliographie

Bibliographie

Construction en terre

- ASSAM BALOUL, N. (2008). conservation et valorisation du patrimoine ksourien pour un developpement durable de la region du twat gourara : cas du ksar de tmassekht. Département d'architecture, Tizi Ouzou.
- Baggs, D. (s.d.). *Thermal mass and its role in building comfort and energy efcient*.
- Association villes et pays d'arts et d'histoire. (2008). Le pisé en Pays Voironnais. France.
- Barbossa et al. (2007). Potentialities of earth construction in latin - america. *International Symposium of Earthen Structures*, 29-37.
- Blondet, M., & Aguilar, R. (2007). Seismic protection of earthen buildings. Dans V. B. Reddy, & M. Mani, *International Symposium on Earthen Structures* (pp. pp. 3-10). Bangalore, India: Interline Publishin.
- Bruce, K et al. (2008). The renaissance of earthen architecture. *8th international seminar on structural masonry*.
- Bui.Q.B. (2008). *Stabilité des structures en pisé : durabilité, caractèrestiques mécaniques, thèse de doctorat*, Lyon : INSA.
- Chabanne, J. (2006). *Une ossature bois spécifique aux remplissages, mémoire de DSA-terre*. Grenoble: INSA.
- CNERIB. (1992). *Projet HAB 24 – Filière BTS*. Alger : CNERIB.
- CNERIB. (2000). *Conception de logement économiques à base de produits localement disponibles*. Alger : CNERIB.
- Cointeraux. (2002). *Ecole d'architecture rurale et économique*. Paris: Bibliothèque nationale de France version numérique.CRATerre. (s.d.). Récupéré sur <http://www.craterre.archi>
- CRATerre. (1987). *Marrakech 87 Habitat en terre*. Grenoble : CRATerre.

- CRATerre. (1991). *Construire en terre*.
- CSIRO. (2000). *Mud walls give poor insulation*.
- CRATerre. (1995). *traité de construction en terre*. Marseille: edit 2. Parenthèse.
- Dethier, J. (1986). *Architecture de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire*. Paris: CGP.
- Djebib, Y., & Hall, M. (2004). Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *construction and building materials*(18), pp. 281-286.
- Doat, P et al. (1983). *Construire en terre*. Paris: Alternative.
- Fathy, H. (1970). *Construire avec le peuple*. Paris: Jean Martineau.
- Fitzmaurice, R. (1958). *Manual on Stabilised Soil Construction for Housing. Technical Assistance Program*. New York, United Nations.
- Fitzmaurice, R. (1958). *Manual on Stabilised Soil Construction for Housing. Technical Assistance*
- Fuller et al. (2008). *Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building*. Energy and building.
- Galerie Eureka & CRATerre. (2009). *Grains de bâtisseurs : la matière en grains, de la géologie à l'architecture*.
- Guibaud, C. (2005). *L'architecture en pisé dans le canton de boen (loire)*. loire.
- Guillaud, H. (2002, Mars/Avril/Mai). Architectures de terre, un patrimoine d'avenir. *CAES Magazine*(63).
- Guillaud, H. (2005). Histoire et évolution de la technique du pisé.
- Hall, M. (2005). Assessing the environmental performance of stabilised rammed earth walls using a climatic simulation chamber. *construction and building materials*.
- Hall, M., & Allinson, D. (2008). *Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials*. applied thermal engineering.
- Hamilton, H et al. (2006). *Cyclic testing of rammed earth walls containing post-tensioned reinforcement*. Earthquake Spectra.

- Heathcote, K. A. (1995). Durability of earth wall building. *Construction and Building materials*.
- Hegger, M et al. (2009). Construire:Atlasdes materiaux. *presses polytechnique et universitaires Romande*.
- Houben, H et al. (2006). *Traité de construction en terre*. 3ème ed. parenthèses.
- Houben, H., & Doat, P. (1986). Construire en terre une indispensable formation . *Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux*.
- Jaquin, P. A. (2008, janvier 2). School of Engineering, Durham University.
- Jeannot et al . (1997). *Le pisé, Patrimoine, restauration, techniques d'avenir, les cahiers de construction traditionnelle*. CREER.3ème édition.
- Kebaili, N. (2006). *L'architecture de terre contemporaine en algerie; evaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région centre des hauts plateaux, Mémoire de Magister*. EPAU, Alger.
- Mac Leod, D. (2002). *The case for improving the performance of indigenous earth dwell lings in rural south africa*. *Tech.rep.* agrément southe Africa.
- Meunier, N. (2003). Le pisé. *Echange transdisciplinaires sur les constructions en terre*, pp. 451-456.
- Michel, P et al. (1987). Le patrimoine construit en terre en france métró politaire. *le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation*, pp. 529-551.
- Minke, G. (2001). *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*. GATE - BASIN (Building Advisory Service and Information network).
- Morris, H. W., & Walker, R. (2000). Seismic design and construction of earth buildings in new zealand. *12WCEE 2000*.
- Odul, P. (1983). L'architecture de terre en Algerie. Ed. projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique.
- Olivier, M. (1988). *Evolution des recherches effectuées au CNERIB sur la construction en terre (rapport de mission)*. Alger : CNERIB.
- Ogunye, F. O., & Boussabaine, H. (2002). *Development of a rainfall test rig as an aid in soil block weathering assessment*. *Construction and Building Materials*.

- Paul, W.L et al. (2008). A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. *building and environment*(43), pp. 1858-1870.
- Pignal, B. (2005). *Terre crue - Techniques de construction et de restauration*. Eyrolles. Paris
- Plan Construction et Habitat/ENTPE/EPIDA. (1982). actualité de la construction en terre en France. *Actes du séminaire*.
- Rauch, M. (2007). Earth house with european standard : A review of the project "rammed earth house". (I. Publishing, Éd.) *International symposium on earthen Structures*, pp. 45-52.
- Reardon, C et al. (s.d.). *Thermal mass - passive design*.
- Repiquet, J. (2006, Janvier/fevrier). Construire en terre. *A vivre* (bimestriel n°28).
- Taylor, P et al. (2008). Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building. Dans *energie and building*.
- Zacek, M. (1996). *Construire Parasismique*. Marseille: parenthèses.
- Walker, P et al. (2005). *Rammed earth : Design and construction guidelines*. BRE Bookshop.

Psychologie de l'environnement

- Adolphe, L. et al. (2002). *SAGACités – Chapitre A-4 : Synthèse bibliographique « La perception des ambiances urbaines et le confort dans les espaces extérieurs »*.
- Bagot, J. D. (1999). Information, sensation et perception. Dans A. Colin (Éd.), *Coll.Cursus Psychologie Paris. Chapitre I Le domaine de la perception* (p. 11). Paris.
- Bailly, A.-S. (1977). *La perception de l'espace urbain, Les concepts, les méthodes d'étude, leur utilisation dans la recherche urbanistique, Paris, CRU, 264 p.* Paris: CRU.
- BELL, P.A. & al. (1996). *Environmental psychology*. Quatrième édition, Harcourt Brace College, Orlando Chapitre 6 : Weather, climate and behavior, .
- Bilocq, F. (1999). *Enquêtes et sondages, modèles, applications, nouvelles approches* . France: Brossier et Dussaix éditeurs scientifiques, Dunod.

- Blanchet, A., & Gotman, A. (1992). *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Paris: Nathan.
- Bloch, H et al. (1993). *Grand dictionnaire de la psychologie France*. France: 2ème Ed. Larousse.
- Berthier, N. (1998). *Les techniques d'enquête, méthodes et exercices corrigés*. Coll. *Cursus*. France: Armand Colin.
- Bonnet, C. (1993). "Perception". Dans H. Bloch, & e. al, *Grand dictionnaire de la psychologie*. France : 2ème Ed.Larousse.
- Boussoualim, A. (2002). *Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur- cas de Blagnac* . GRECO, thèse de doctorat.
- Cauvin, C. (2007). *propositions pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine*. Récupéré sur http://www.cybergéo_press.fr/geocult/texte/cognima.htm.
- Chabane, I. (2006). Evaluation de la qualité vécue des environnements hermétiques.
- Chauchat, H. (1985). « *L'enquête en psycho-sociologie* ». Coll. *Le psychologue*. Paris: PUF.
- Denis, M. (1989). *Image et cognition* . France: PUF.
- Deschamps, J. (1996). Attribution et explication . Dans J. C. Deschamps, & A. Clemence, « *L'attribution, causalité et explication au quotidien*» (pp. 247-264). Suisse: Delachaux et Niestlé.
- Flessas, J. (1997, automne-hiver 1997). L'impact du style cognitif sur les apprentissages. *revue scientifique virtuelle "Education et francophonie", XXV(n°2)*.
- Ficher, G., & Vincent, B. (1998). «*La perception de l'espace : mieux comprendre l'espace vécu » rapport d'étude « une autre lecture de l'espace public : les apports de la psychologie de l'espace » collection rapports d'étude,*. CERTU, Ministère de l'équipement, des transports et des logements.
- Fischer, J. (1965). *Psychosociologie de l'espace*. PUF, Que sais-je.
- Ghernoug, H. (1987). A study of Man-environment relationship in public squares- case studies in Algiers, Algeria. M.A. thesis in urban design.
- Grawitz, M. (1990). *Méthodes des sciences sociales*. Paris: Dalloz.

- Greco-Eat et Apb. (2002). *Sagacités, Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines*. Marseille: Greco-Eat et Apb.
- Kitouni, S. (1988). Cognition and environmental design, M.Sc. thesis. Department of architecture, Edinburgh College of Art.
- Le Ny, J.-F. (1993). Psychologie cognitive. Dans H. Bloch, & e. al, (sous la dir.) « *Grand dictionnaire de la psychologie* ». 2ème Ed (p. 139). France: Larousse.
- Lecocq, P. (1994). Comment l'homme conserve-t-il des souvenirs ? Dans A. Weil-Barais, *L'homme cognitif. Coll. Premier cycle*. France : 2ème Ed. PUF.
- Levy-Leboyer, C. (1980). Psychologie et environnement. *Coll. Le psychologue*, p. 17.
- Lynch, K. (1996). *L'image de la cité, Paris, coll. Aspects de l'urbanisme*. Paris: Dunod.
- Mestoul, D. (2010). *évaluation du degré de gêne dans les espaces publics extérieurs soumis aux effets aérodynamiques des bâtiments, mémoire de magistère*. EPAU, Alger.
- Moch, A., & Moser, G. (1997). Psychologie environnementale : perspectives actuelles. *Psychologie française*(42-2).
- Morval, J. (1981). *Introduction à la psychologie de l'environnement*. Bruxelles: MARDAGA.
- Moser. (2003). Questionner, analyser et améliorer les relations à l'environnement. Dans Moser.G, & K. Weiss, (sous la dir.) *Colin, Armand, Espaces de vie - Aspects de la relation homme-environnement* (p. 16). France.
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1988). (1988). « Manuel de recherche en sciences sociales ». Ed. Dunod, Paris : p. 187.
- Rapoport, A. (1984). A study of Man-environment relationship in public squares- case studies in Algiers, Algeria. M.A. thesis in urban design. Dans H. Ghernoug. England.
- Rondelet, J. (2006). *Manuel de la sensibilisation à la restauration de la Maçonnerie*. France: Ministère de la Culture et de la Communication.
- Steri, A. (1994). Comment l'homme perçoit-il le monde ? Dans A. Weil-Barais, *L'homme cognitif. Coll. premier cycle*. France: 2ème Ed. PUF.

Sundstrom, E., & Sundstrom, M. G. (1986). Work places - The psychology of the physical environment. Dans *offices and factories. Coll. Environment and Behavior* (pp. 75-77.). CUP, Cambridge.

Vischer, J. C. (1989). « *Environmental quality in offices* ». Van Nostrand Reinhold, USA.

Autre

AGEDEN, a. (2010). *Maîtrise de l'énergie et énergie renouvelable en iser*.

Arrêté du 05/12/1987 . (s.d.). *JORA du 17/02/88* , p 231.

Cao, M. L. (2009). *Les vrais enjeux d'un projet de construction durable*. Paris: Le harmattan.

CAUE. (2005). *La maison rurale, : guide pour connaître et préserver, aménager et grandir sans trahir*.

Cherqui, F et al. (2004). Elaboration d'une méthodologie d'aménagement durable d'un quartier. Dans *Annales du bâtiment et travaux publics n°1*. France.

Coignet, J & L. (2003). *La maison ancienne*. Paris: Eyrlles.

Côte, M. (1988). *L'habitat rural en Algérie formes et mutations*. sl.

Davidovici.V. (1984). *Cours de Génie Parasismique - A l'usage des architectes*. Ecole Spéciale d'Architecture (ESA).

Décret 87-234 du 03/11/87, . (s.d.). *JORA du 04/11/87*.

Desrues, J., & Duthilleu, B. (1984). Stereophotogrametric method applied to the determination of plane strain fields. *Journal de Mécanique théorique et appliqué* .

KACI, M. (2006). L'architecture rurale traditionnelle en kabylie, un patrimoine en péril. *vie de villes*(5).

La revue durable. (2006, février-mars). Des technologies appropriées pour la costruction, l'eau et la santé. *la revue durable*(19).

Lieberherr, R. (2006). *le feu domestique*. unesco.

MEDA Corpus, Euromed heritage . (2001). architecture traditionnelle méditerranéenne.

- Merzag, A. (2010). *La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie, Mémoire de magistère*. U.M.M.T.O, Tizi Ouzou.
- Mesbah, A et al. (2001). Building houses with local materials : means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and environment*, 36, pp. 1119-1126.
- Ministère de l'Energie et des Mines(APRUE), Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie. (2007). *Consommation énergétique finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2005*.
- Ministère de l'habitat du Maroc. (1987). *Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux Marrakech du 25 au 26 avril 1986*, Ed. Média conseil, Marrakech
- Ministère de l'habitat. (1992). Décret ministériel du 05/05/1992.
- Mortensen, N. (2008). The naturally air conditioned house. *Sharing Sustainable Solutions*.
- ORHL. (2006, Décembre). Habitat et développement durable. *Les cahiers de l'habitat et du logement*. Rhône- Alpes: Observatoire Régionale de l'Habitat et du Logement.
- Sabri, M., Aoudia , K., & Lalle, M. (2000). *Guide de gestion des marchés publics*. Alger:
- Sahe.Van Duysen, J., & Jumel., S. (2008). *Le développement durable*. Paris: Le Harmattan.

Listes des figures

Figure 1 : Structure du mémoire	6
Figure 2 : Les régions de développement de l'architecture de terre (Houben, H et al, 2006).....	9
Figure 3 : Les procédés de production de la terre crue (Houben, H et al, 2006).....	11
Figure 4 : Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes(Bui.Q.B, 2008)	13
Figure 5 : murs en pisé (S.Salmi. EPAU.Nov 2012)	13
Figure 6 : Mur mixte en torchis	13
Figure 7 : A gauche : des adobes au séchage sous le soleil. A droite : une maçonnerie en adobes.	14
Figure 8 : une maison construite en BTC en Rhône-Alpes.....	15
Figure 9 : un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères	17
Figure 10 : Plan de masse des maisons en pisé de Mostafa Ben Brahim.....	18
Figure 11 Plan et façade d'une habitation type au village	19
Figure 12 : logements en B.T.C. à Tamanrasset.....	22
Figure 13: Premières assises du prototype de Souidania 1999 (Le CNERIB)	22
Figure 14 : Prototype achevé.....	22
Figure 15 : maison en pisé au village Madher à Boussada	22
Figure 16 : les ateliers de l'architecture de terre (S.Salmi. l'EPAU. Nov. 2012)	24
Figure 17 : mur monolithique en pise (Jeannet et al , 1997).....	27
Figure 18 : mise en place de banches à pisé (Pignal, 2005)	28
Figure 19: Les différents horizons d'un profil de sol	28
Figure 20 : une maison en pisé au nord Isère montrant le soubassement en maçonnerie et la toiture débordante (CRATerre)	29
Figure 21 : le module de base pour le pisé (CRATerre)	30
Figure 22 : Les possibilités de percement pour un ouvrage en pisé (CRATerre)	30
Figure 23 : Château Chabet, XVIIe siècle. Vue générale (Guibaud, 2005)	31
Figure 24 : Un bâtiment de 6 étages en pisé construit en 1820 en Allemagne. (Walker, P et al, 2005).....	32
Figure 25 : Maison en pisé moderne construite au cours des années 1980 en région Rhône- Alpes (Bui.Q.B, 2008)	32
Figure 26 : Les dames pneumatiques en métal. A droite : la dame est modifiée en ajoutant une plaque carré en bois (Galerie Eureka & CRATerre, 2009)	33
Figure 27 : Coffrage métallique du pisé moderne sur un chantier en France. Photo : N. Meunier (Bui.Q.B, 2008)	33
Figure 28 : Préfabrication des pisé dans une usine, en Autriche (Rauch, 2007)	34
Figure 29 : Transport et mise en œuvre des éléments préfabriqués (Rauch, 2007)	34
Figure 30 : Principe de l'influence de la masse thermique dans le confort thermique du bâtiment (Reardon, C et al)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 31 : Le temple d'Horyuji au Japon	Erreur ! Signet non défini.
Figure 32 : La Grande Muraille de Chine.....	40
Figure 33 : Le schéma de bonne conception architecturale d'un bâtiment en terre (source le CRATerre).	41
Figure 34 : La pathologie humide ou système de la goutte d'eau (CRATerre)	42
Figure 35 : un mur en pisé durant une averse de pluie (Jaquin, 2008)	43

<i>Figure 36 : Bâtiment en pisé stabilisé au ciment (Maniatidis, 2003)</i>	46
<i>Figure 37: Renforcement parasismique des murs en terre proposé dans la norme de Nouvelle-Zélande (Bui.Q.B, 2008)</i>	47
<i>Figure 38 : Une maison en adobe renforcé par des grillage en polymer (Blondet & Aguilar, 2007)</i>	48
<i>Figure 39 : Renforcement par des tirants verticaux, proposé par Minke (Bui.Q.B, 2008)</i>	49
<i>Figure 40 : L'essai d'arrosage ("spray test"), d'après Heathcote</i>	51
<i>Figure 41 : L'essai de goutte-à -goutte ("drip test"),</i>	51
<i>Figure 42 : L'essai de simulation des pluies ("rainfall-test"), proposé par Ogunye et Boussabaine (Ogunye & Boussabaine, 2002)</i>	52
<i>Figure 43 : Des murets exposés aux conditions naturels dans l'étude de Guettala et al (Hall M. , 2005)</i>	53
<i>Figure 44 : Plan du site des murets mis en œuvre en masse et la distribution des différents types de protection (enduit, badigeon, peinture, imprégnation, témoin) sur différents supports (FRE, MRE, SMRE).</i>	54
<i>Figure 45 : Vue générale des murets sur site(Bui.Q.B, 2008)</i>	54
<i>Figure 46 : principe de la méthode de stéréo-photogrammetrie</i>	55
<i>Figure 47 : Stéréoscope - l'appareil d'établissement du relief à partir de deux clichés(Bui.Q.B, 2008)</i> ..	56
<i>Figure 48 : l'essai de compression uniaxiale (Bui.Q.B, 2008)</i>	56
<i>Figure 49 : De l'espace objectif aux espaces cognitifs (Cauvin, 2007)</i>	64
<i>Figure 50 : Situation de la zone d'étude. Région centre de l'Atlas Tellien</i>	73
<i>Figure 51 : vue aérienne du village Ait Itchir (google earth, 2009)</i>	73
<i>Figure 52 : vue sur une partie du village</i>	74
<i>Figure 53 : levé photogramétrique du village</i>	74
<i>Figure 54 : plan et coupe d'une maison type (S. Salmi)</i>	75
<i>Figure 55 : mur en pisé sans enduit (S.Salmi. Ait Itchir, nov 2010)</i>	76
<i>Figure 56 : composition de la toiture (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)</i>	77
<i>Figure 57: le traitement des questionnaires par "Excel"</i>	88
<i>Figure 58 : appréciation globale des habitations en pisé</i>	88
<i>Figure 59 Aspects positifs des habitations en pisé</i>	89
<i>Figure 60 Aspects négatifs des habitations en pisé</i>	90
<i>Figure 61 les attentes des usagers</i>	90
<i>Figure 62 : appréciation globale du materiau</i>	92
<i>Figure 63: décollement des enduits (S.Salmi. Ait Itchir. Nov 2012)</i>	92
<i>Figure 64: fissures au niveau des angles et des baies (S.Salmi.Ait Itchir Nov 2012)</i>	93
<i>Figure 65: taches d'humidité sur les murs (S.Salmi. Ait Itchir. Nov 2012)</i>	93
<i>Figure 66: décomposition du matériau et effondrement</i>	93
<i>Figure 67 : Réserve de pétrole en année de consommation 2001. Source : BP Statistical Review, juin 2002 (ORHL, 2006)</i>	116
<i>Figure 68 : Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005</i>	118
<i>Figure 69 :la consommation du secteur résidentiel. (Source: APRUE L'évolution, 2007)</i>	119
<i>Figure 70: une maison transformée en etable</i>	131
<i>Figure 71 : maison en bon état, laissée à l'état brute (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)</i>	131

Figure 72 : maisons en ruine (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 131

Figure 73: maison en bon état, les murs enduits (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 132

Figure 74: maisons en R+1, avec garrage au RDC (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 132

Figure 75 : Une maison en duplex en destruction (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 132

Figure 76: l'erosion d'un mur en pisé (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 132

Figure 77 : Une cour plantée (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 133

Figure 78 : L'interieur d'une habitation (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 133

Figure 79 : une partie du village Ait Itchir (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010) 133

Listes des tableaux

Tableau 1 : Les différentes techniques de construction en terre.	12
Tableau 2 : Les opérations de construction en terre en Algérie	21
Tableau 3 : résultats de la consommation d'énergie en construction des maisons en pierres, en pisé et en béton	35
Tableau 4 : Résultats de Paul et Taylor de la consommation d'énergie (en MJ /m ²) en été, d'un bâtiment "vert" (en pisé) et des bâtiments conventionnels en Australie.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5 : Synthèse de la résistance thermique des études existantes	37
Tableau 6 : Aspects physiques des différents niveaux d'environnement	60
Tableau 7 : Grille thématique de l'analyse de contenu-Souhaits de changement	80
Tableau 8 : Grille thématique de l'analyse de contenu-Avantages et Inconvénients.....	81
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des questions posées et objectifs.....	86
Tableau 10: Tableau récapitulatif des caractéristiques personnelles des usagers interrogés	87
Tableau 11 : Caractéristiques personnelles des usagers	91
Tableau 12 : Les causes des désordres.....	94
Tableau 13 : Analyse de contenu : avantages/inconvénients physiques des habitations en pisé	124

8. Annexes

Annexe A : Le bâtiment et le développement durable

Le développement durable

La définition "développement durable" apparaît la première fois dans le rapport de Brundtland en 1987: "Le développement durable est un développement qui satisfait les besoins d'aujourd'hui sans compromettre la satisfaction des besoins de demain".(Van Duysen & Jumel., 2008).

L'expression « développement durable » devient aujourd'hui incontournable dans le monde, c'est la conséquence d'une volonté de prise en considération des valeurs sociales, économiques et écologiques par l'ensemble des acteurs de la construction et plus généralement par tous(Cherqui, F et al, 2004).

Partant des principes du développement durable, l'architecture devra concilier ces valeurs :

- En termes de société : l'environnement bâti de par ces différentes caractéristiques (physiques, d'ambiance, sanitaires...etc.) détermine le confort ou l'inconfort des utilisateurs.
- En termes d'économie : la construction présente une part importante dans les dépenses de l'état, aussi il joue un rôle majeur dans le secteur de l'emploi, mais également, le secteur du bâtiment offre une opportunité importante en étant le plus grand gisement d'économie d'énergies.
- En termes d'environnement : la construction des bâtiments, leur entretien et leur exploitation représente une très grande part dans la consommation énergétique d'un pays avec pour corolaire, les émissions des GES. Ajouté à cela, d'autres nuisances existent liées à l'extraction des matériaux bruts, la fabrication de matériaux de construction, les déchets de construction et de démolition.

Problème d'épuisement des ressources naturelles

Les experts estiment qu'au rythme actuel, nous aurons épuisé les réserves de pétrole d'ici une quarantaine d'années et que la production de pétrole ne parviendra pas à suivre la croissance de la demande d'ici 2015-2035(ORHL, 2006)

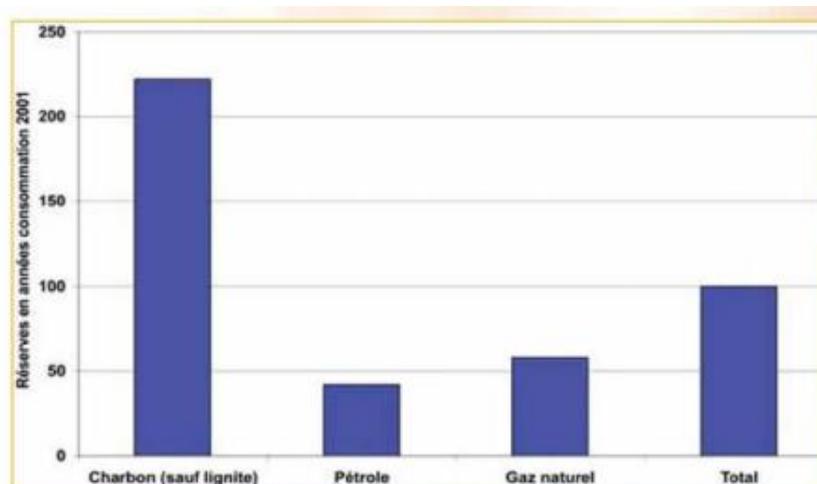


Figure 67 : Réserve de pétrole en année de consommation 2001. Source : BP StatisticalReview, juin 2002 (ORHL, 2006)

Enjeux du développement durable dans le secteur du bâtiment

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

- l'énergie de fabrication des éléments de bâtiment : cette phase se compose des étapes suivantes : l'extraction des matières premières, leur transport, leur transformation, le transport des produits finis et leur mise en œuvre in-situ.
- l'énergie consommée pendant l'utilisation du bâtiment : le chauffage, la ventilation, la climatisation, l'éclairage, etc.
- l'énergie de démolition et de traitement des déchets après la démolition.

L'enjeu du secteur du bâtiment dans le développement durable est donc de diminuer l'utilisation des énergies abordées au-dessus. Pourtant, la plupart des gens considèrent qu'un bâtiment ayant une bonne "performance énergétique" est un bâtiment qui a une bonne performance thermique pendant la phase d'habitation. C'est la raison pour laquelle des règles actuelles exigent seulement une bonne performance thermique des bâtiments dans cette phase (demande d'isolations thermiques, ...) mais pas encore aux autres phases. car plusieurs études, qui cherchent à améliorer la performance énergétique des bâtiments, ont montré que l'énergie consommée pendant la phase d'occupation est dominante. Selon ces études, l'énergie consommée pendant la phase de construction est seulement d'environ 15%. Pourtant, ces études ont encore plusieurs limites. Par exemple, ils n'ont pas encore tenu compte de l'énergie nécessaire pour le traitement des déchets après la démolition, etc.

Thormark dans son étude (Taylor, P et al, 2008) montre que plus on augmente la performance thermique du

bâtiment pendant la phase d'occupation (par l'ajout des matériaux d'isolation), plus on augmente considérablement l'énergie consommée pendant la phase de construction (l'énergie de fabrication et de transport de ces matériaux). Et à partir d'un niveau de performance énergétique satisfaisant, on ne doit plus augmenter l'isolation thermique car la performance thermique n'augmente plus pendant que l'énergie de la phase de construction en augmente encore. Thormark a étudié l'énergie consommée des bâtiments à faible consommation énergétique (45kWh(162MJ)/m²). Le cycle de vie est assumé à 50 ans. Son résultat montre que l'énergie consommée pendant la construction est montée à environ 40% d'énergie totale de ces bâtiments de faible consommation énergétique.

En tenant compte de l'énergie du traitement des matériaux après la démolition (l'énergie du recyclage des matériaux, du stockage des déchets), l'étude de Thormark (Taylor, P et al, 2008) a montré que le recyclage contribue à un potentiel de 15% d'énergie totale dans toute la vie de ces bâtiments. Donc, on a 2 facteurs importants sur lesquels réfléchir en choisissant le matériau d'un bâtiment. C'est-à-dire un matériau présentant non seulement une très bonne performance énergétique mais aussi un fort potentiel de recyclage.

Contribution du bâtiment au développement durable

La fonction première du bâtiment est de protéger l'homme des agressions extérieures de son environnement ; nous en sommes pourtant arrivés aujourd'hui au stade où il faut protéger l'environnement des hommes et de leurs constructions (Cao, 2009). La construction du XXI^{ème} siècle ne peut plus ignorer tout à la fois, les limites physiques de la planète, les exigences sociales en termes de sécurité et de bien-être, le rôle du bâti dans la culture et les contraintes fortes de l'environnement et de l'économie. Dans cette optique, le bâtiment doit participer au grand chantier du développement durable pour un bien-être social, une volupté économique et une sécurité environnementale. (Merzag, 2010)

Le contexte en Algérie : le bâtiment, l'énergie et l'environnement

On ne pourra estimer l'impact du secteur du bâtiment sur l'économie du pays, et principalement son caractère énergétivore sans passer en revue l'état de la production et de la consommation énergétique par produits et par secteurs.

D'après les chiffres recueillis, pour l'année 2005, par l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), dans son rapport sur la consommation énergétique finale de l'Algérie, la consommation nationale totale d'énergie finale s'élève à environ 17 millions de TEP (tonne équivalent pétrole) (Ministère de l'Energie et des Mines (APRUE), Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, 2007).

La figure suivante illustre la répartition de cette consommation entre les différents secteurs de l'économie.

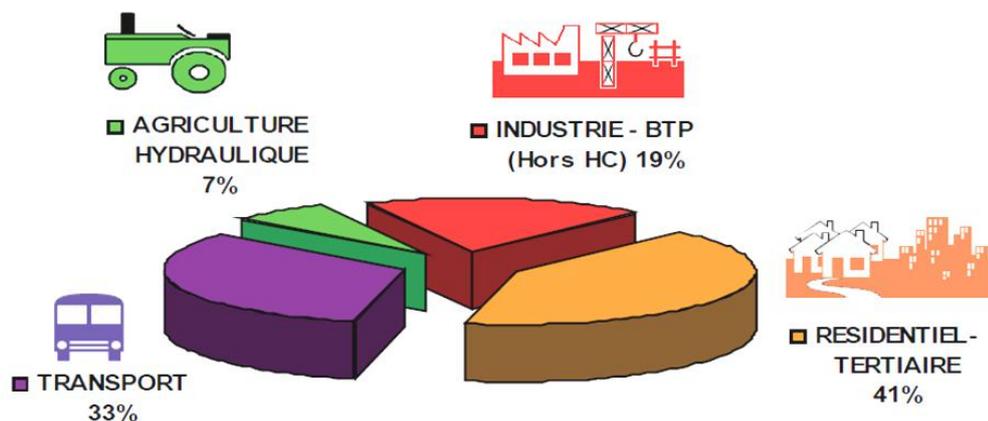


Figure 68 : Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005

(Source : APRUE, 2007)

D'après les statistiques établies par l'APRUE, entre 2000 et 2005 (Ministère de l'Energie et des Mines (APRUE), Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation

de l'Energie, 2007), La consommation énergétique finale nationale a enregistré un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 5,68%.

La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel en particuliers a augmenté considérablement au cours des dernières années du fait de l'accroissement du parc des bâtiments (un parc qui a triplé depuis l'indépendance à nos jours), de l'accroissement de la surface moyenne des logements, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux besoins.

Avec un taux d'équipement des ménages de 70% et un taux d'électrification de 98% ainsi qu'un taux de raccordement au réseau gaz naturel est de 36%, la consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est arrivée à 1,050 tep.

La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6 millions de tep en 2005, un chiffre qui ne devrait pas s'arrêter là vu le taux d'évolution de la consommation de ce secteur.

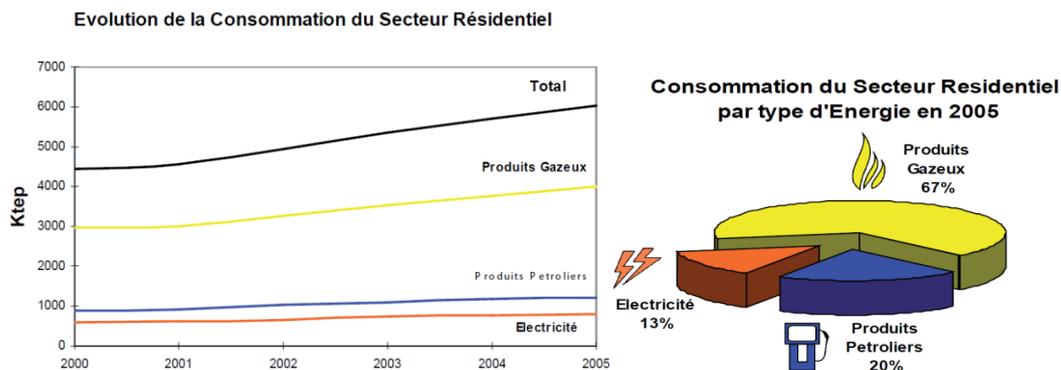


Figure 69 : la consommation du secteur résidentiel. (Source: APRUE L'évolution, 2007)

Les matériaux durables (Chabanne, 2006)

Les différents types de ressources disponibles Selon l'origine de la matière première qui constitue les matériaux de construction il est possible de dégager des grandes familles de matériaux. Nous avons donc défini un classement concernant les ressources actuelles en matériaux de construction :

- matériaux non-renouvelables :

Comme défini ci-dessus, leur utilisation pose le problème de l'épuisement des ressources. L'utilisation de ces matériaux doit maintenant être limitée, et le principe d'assemblage réfléchi afin de permettre un recyclage aisé.

- matériaux renouvelables : ils présentent l'avantage de repousser, c'est une ressource durable dont l'utilisation

doit être encouragée. Ces ressources doivent nous inspirer pour inventer de nouveaux systèmes constructifs.

- matériaux recyclés : cette catégorie regroupe tous les matériaux fabriqués à partir de matière première recyclée. La matière ainsi récupérée doit souvent subir un traitement

particulier avant de redevenir un matériau. Souvent l'énergie nécessaire pour une seconde transformation est moins importante que celle nécessaire au passage de la ressource naturelle au statut de matériau de construction. Certains déchets de notre grande consommation pourraient aussi être utilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux, ce qui peut présenter un avantage en terme de gain de place dans les déchetteries.

Qualités des matériaux de construction durables

En déconstruisant le cycle de vie des matériaux comme une série d'actions, il est possible de quantifier le caractère durable d'un matériau par rapport à un autre. Certains matériaux, comme l'aluminium, ont besoin de beaucoup d'énergie et de produits chimiques pour passer de la matière au matériau, mais se révèlent avoir une stabilité exceptionnelle et un recyclage aisé. D'autres, comme le bois, sont moins énergivores et même intéressants en tant que stockage de CO₂, mais une fois traité pour augmenter sa durabilité il peut s'avérer dangereux pour la santé des occupants et risque de polluer l'eau une fois qu'il sera mis en décharge. En étudiant l'implication des matériaux de construction à travers la vie des bâtiments, trois phases se dégagent. Pour chaque phase il est possible de définir des actions précises concernant les matériaux de construction, chacune de ces actions permettant de caractériser un effort particulier dans le sens du développement durable.

Il suffit qu'un matériau respecte un de ces caractères en plus qu'un matériau comparable pour qu'il soit considéré comme plus durable

Avant qu'il soit dans le bâtiment :

- mesures de prévention de la pollution à la fabrication,
- mesures de réduction des déchets à la fabrication,
- contenu recyclé,
- réduction de l'énergie induite,
- utilisation de matériaux naturels.

Dans le bâtiment :

- réduction des déchets pendant la construction,
- matériaux locaux,
- efficacité énergétique,
- traitement et conservation de l'eau,
- utilisation de matériaux non-toxique ou moins toxique.

Après le bâtiment :

- réutilisation,
- recyclabilité,
- biodégradabilité.

Annexe-B : L'enquête

L'enquête

«Les objectifs d'une enquête sont exprimés en terme de concepts et le questionnaire devient l'outil par lequel ces concepts sont mesurés»(Bilocq, 1999). Ces concepts font l'objet d'une description exhaustive et d'une fragmentation en sous-unités sous forme d'indicateurs qui permettent de formuler les questions et ainsi récolter des réponses sous forme de données analysables et quantifiables. Les principaux objectifs d'une enquête ne consistent pas seulement à recueillir ces renseignements mais surtout à étudier les rapports entre ces données. La qualité des données d'une enquête est donc directement liée à la qualité du questionnaire.

L'enquêté et l'enquêteur sont les principaux acteurs du scénario de collecte d'information et lors de la réponse à une question l'enquêté effectue une série de tâches que l'on appelle le processus cognitif¹⁴ de réponse à une question. Ce processus cognitif se décompose en cinq étapes principales :

- **Interprétation** : dans un premier temps l'enquêté décode la question et en interprète le sens.
- **Extraction, recherche de l'information**: l'enquêté fait appel à sa mémoire pour extraire l'information nécessaire.
- **Choix et format de la réponse** : l'enquêté choisit parmi les réponses possibles celle qu'il considère adéquate.
- **Modification** : en présence d'une question qu'il juge "sensible ou délicate" l'enquêté peut parfois modifier sa réponse.
- **Communication** : à la dernière étape, l'enquêté communique par écrit ou oralement la réponse qu'il a choisie.

Il est essentiel lors de la conception d'un questionnaire, de tenir compte du processus cognitif de réponses des enquêtés. En facilitant leurs tâches cognitives, on maximise les chances d'obtenir les réponses adéquates aux questions posées.(Bilocq, 1999).

¹⁴Cognition = Ensemble des activités intellectuelles et des processus qui se rapportent à la connaissance et à la fonction qui la réalise (Bloch, H et al, 1993)

Annexe-C : Grille thématique des données de la préenquête

Tableau 13 : Analyse de contenu : avantages/inconvénients physiques des habitations en pisé

		Avantages	Inconvénients
Physiques	Matériau	Résistance mécanique	-Ce n'est pas solide, ça se fissure facilement, et ne résiste pas au séisme -La terre a une durée de vie limitée. -Toutes les maisons sont fissurées après le dernier tremblement de terre
		Sensibilité à l'eau/étanchéité	-Lors des pluies, on a peur que ça flambe -Ça goute en hivers -Il y a de la terre qui tombe du plafond en temps pluvial (bois, roseaux, terre tuiles) -On a mis de la toile sur le toit pour que la pluie ne pénètre pas.
		Confort thermiques	-Les anciennes maisons sont mieux que les nouvelles, elles sont plus chaudes en hiver -Des murs en pisé, consolidé avec des piliers et du ferrailage, ça sera impeccable, c'est climatisé : frais en été et chaud en hiver
		entretien / réhabilitati	J'aimerais bien y rester à condition que notre maison soit bien entretenue : il faut mettre du carrelage et du faux plafond. -Rien à faire, il faut démolir - Ce n'est pas compatible avec l'enduit au ciment, ça décolle
		Hygiène	-Ce n'est pas propre, ça provoque de la poussière -Il y a beaucoup d'insectes
	Fonctionnement		-Il manque la cuisine et les sanitaires -La cour est exposée au soleil et à la pluie, ça dérange -La maison n'est pas sécurisée, on peut pénétrer facilement dans la cour -Il fait froid parce que c'est ouvert directement sur l'extérieur il n'y a pas assez d'espace -Il n'y a pas mieux qu'une maison moderne, fermée et propre -C'est sombre parce qu'il n'y a pas de fenêtres, c'est pour ça qu'on ne peut pas fermer la porte -Si on ferme la porte il n'y a pas d'oxygène

esthétique			Ce n'est pas beau
psychologique		<p>-Ce sont les traces des ancêtres Je préfère restaurer ma maison et y habiter que de vivre dans un immeuble.</p> <p>-Nous aimons ces maisons par nostalgie, si j'avais assez d'espace pour construire, j'aurais gardé cette maison comme patrimoine.</p> <p>-C'est un patrimoine que nos aïeux nous ont laissé, et qu'on doit sauvegarder, un savoir-faire qui témoigne de notre existence.</p> <p>- J'aimerais y rester à condition que la maison soit bien entretenue.</p>	<p>-C'est la misère, ce n'est pas une vie</p> <p>-Ce sont de vieilles maisons, on a peur qu'elles ne s'effondrent</p> <p>-Les vieux comme moi aiment ces maisons mais les jeunes pas du tout</p> <p>-Je veux construire une nouvelle maison</p> <p>-On ne vit pas, c'est pénible, surtout pour la femme, c'est elle qui doit entretenir la maison.</p>

Annexe-D :Questionnaire d'enquête

Evaluation générale



1. Que pensez-vous de votre maison ?

.....

2. Qu'est ce qui est le plus agréable dans votre maison ?

.....

3. Qu'est ce qui ne l'est pas* ?

.....

Besoins

4. Votre maisons a plusieurs composantes, que sont-ils :

.....

5. Qu'est ce qui manque ?.....

6. Que faut-il faire pour qu'elle vous plaise entièrement* ?

.....

7. Si un jour on décide de démolir votre maison, seriez-vous d'accord ?

Non pourquoi ?.....

Oui pourquoi ?.....

pourquoi ?
pourquoi ?



Et que voudriez-vous avoir à sa place ?.....

Evaluation spécifique

8. Trouvez-vous des avantages d'habiter dans des maisons en pisé ?¹⁵

- Oui
 Non
 Ne sais pas

Lequel ?.....
 Confort thermique
 Confort acoustique
 Esthétique du matériau
 Matériau local
 Autre, précisez.....

9. Si vous devez intervenir sur votre maison (entretien, réhabilitation, adaptation) vous aurez recours :

- Aux matériaux d'origine et aux techniques traditionnelles
 A des matériaux modernes et des technologies contemporaines
 Autre

Les désordres

10. Désordres relevés

- Erosion
 Tache ou trace d'humidité
 Fissures.
 Décollement.

11. Élément de la construction atteinte :

- Structure
 Murs
 Toiture
 Ouvertures
 Équipement

12. Les désordres enregistrés, quel est leur origine ?

- Environnemental (climat ou autres)
 Le séisme
 Le matériau utilisé
 L'utilisateur
 L'ensemble de ces facteurs

¹⁵Ces questions sont inspirées du programme culturel 2007 /2013, architecture de terre en Europe, terra incognita

Partie signalétique

13. Caractéristiques personnelles :

- **Genre :** Une femme
 Un homme
- **Age :**
- **Profession :**
- **le nombre des membres de la famille:**.....
-

14. Identification du bâtiment :

Habitation :type: simplexe/duplexe

Nombre de pièces :

Equipement:

Annexe-E :Photographies



Figure 71 : maison en bon état, laissée à l'état brute (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 72 : maisons en ruine (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 70: une maison transformée enetable (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 73: maison en bon état, les murs enduits (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)

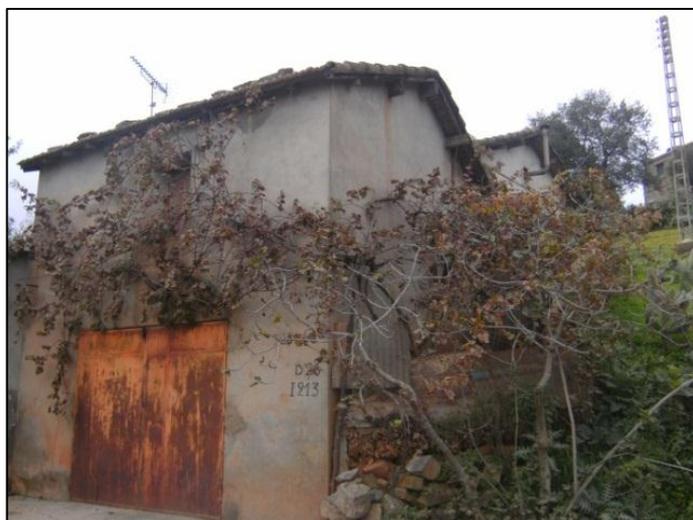


Figure 74: maisons en R+1, avec garrage au RDC (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)

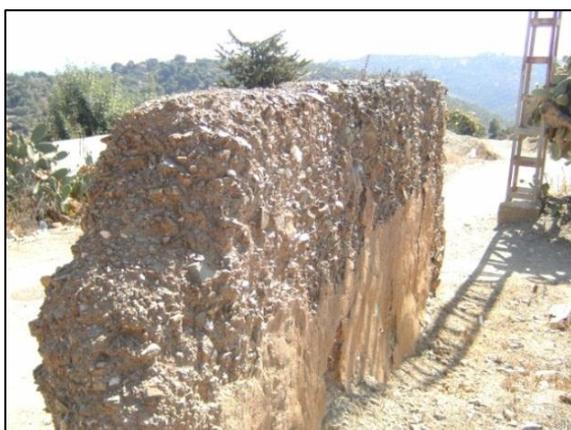


Figure 76: l'erosion d'un mur en pisé (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 75 : Une maison en duplex en distruction(S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 77: Une cour plantée
(S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 78: L'interieur d'une habitation
(S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)



Figure 79 : une partie du village Ait Itchir (S.Salmi.Ait Itchir, Nov 2010)

Résumé

Le pisé est l'un des procédés de construction en terre crue, qui redevient aujourd'hui une alternative crédible à la construction. Par ses propriétés techniques il répond à la plupart des nouveaux enjeux de durabilité de la construction au XXI^e siècle. En effet le pisé assure confort et santé durant toute la vie du bâtiment, contribue à la diminution de l'impact environnemental du bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie, notamment en terme de maîtrise de l'énergie, et contribue à un développement local équitable. Pourtant on continue à masquer ce matériau et le juger comme étant vulnérable.

L'objectif de cette recherche vise à appréhender les différents aspects qui affectent la perception des habitants de leurs constructions en pisé, et établir la part qui revient au matériau dans cette perception. Pour ce faire nous avons choisi un site dans les massifs montagneux de la Kabylie : le village dit Ait Tchir ; un ensemble d'habitations auto-construites réalisés en matériaux locaux : (pisé, bois, tuiles...) mais malheureusement cet ensemble homogène est menacé d'une part, par la généralisation des matériaux conventionnels au détriment des matériaux authentiques, et d'autre part par des pratiques inappropriées d'entretien, de restauration ou de réhabilitation.

Pour la réalisation de cette recherche, la technique d'enquête par questionnaire auprès des habitants va permettre de rassembler les éléments qui contribuent à l'évaluation de cette architecture traditionnelle en pisé et de voir l'importance de la part du matériau dans la perception des habitants. Une observation des pathologies des habitations permet de rassembler les éléments objectifs de cette perception.

ملخص

التراب المضغوط، واحدة من طرق البناء الترابية، التي أصبحت الآن بديلاً ناجحاً للبناء، حيث أنه، بخصائصها التقنية يلي معظم المتطلبات الجديدة من استدامة البناء في القرن الحادي والعشرين. والواقع أن التراب المضغوط يضمن الراحة والحياة الصحية في جميع أطوار البناء ويساهم في الحد من الأثر البيئي للمبني طوال دورة حياته، وخاصة في مجال استخدام الطاقة، وكذا يساهم في التنمية المحلية، ومع ذلك نواصل في طمس هذه المواد نصفها بالهشّة. الهدف من هذا البحث هو فهم الجوانب المختلفة التي تؤثر على نظرة المستخدمين لهاته الابنية الترابية.

للقيام بذلك اخترنا موقع في جبال المنطقة القبائل: قرية آيت إيتشير، وهي عبارة عن تجمع سكنيتم بناؤه وفقاً لطريقة البناء الذاتي بالمواد المحلية (التراب، الخشب، القرميد...). ولكن للأسف هذا النظام المتجانس مهدد من جهة، بتعميم المواد الصناعية على حساب المواد الأصلية، ومن جهة أخرى بالممارسات غير اللائقة في ترميمها، صيانتها أو إعادة تأهيلها.

لإنجاز هذه الدراسة، استخدمنا طريقة الاستبيان في وسط السكان لجمع العناصر التي تسهم في تقييم هذه العمارة التقليدية المبنية من التراب المضغوط، ونرى مدى أهمية المواد في نظرة السكان لبيوتهم الترابية. مراقبة الأضرار التي لحقت بالمنازل تمثل الجانب الموضوعي لهذا البحث.

Abstract

The rammed earth is one of the methods of earthen construction, which now becomes a credible alternative to the construction. By its technical properties, it responds to most of the new issues of sustainability of the twenty-first century construction. Indeed, the rammed earth ensures comfort and health during all the building's life, it contributes to the reduction of the environmental impact of the building in whole its life cycle, especially in terms of energy efficiency. It contributes to a equitable local development too. But people continue to hide this material and judge it as vulnerable.

The objective of this research is to understand the different aspects of representation of the earthen architecture, and to establish the share of material in this perception. To do, we chose a site in the mountains of Kabylia: the village Ait Tchir, a unit of self-built houses made of local materials (earth, Wood, tiles ...) but unfortunately, this homogeneous unit is threatened on the one hand by the generalization of conventional materials at the expense of authentic materials, and on the other hand, by inappropriate practices of maintenance, restoration or rehabilitation.

For the realization of this research, the technique of questionnaire survey has allowed us to gather elements that contribute to the perception of this traditional rammed earth architecture and see the importance of the material in this perception. The observation of pathologies in rammed earth houses permits us to gather objective elements of this perception.