

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MEMOIRE

Présenté à la faculté des sciences de la terre
Département d'Architecture
Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Bioclimatique

Par :
BERREHAIL .Tahar

Thème :
La terre un matériau de construction,
une alternative pour une solution durable

Soutenue le 27 octobre 2009 devant la commission d'examen

Pr : Bourbia Fatiha
Dr: Abdou saliha
Dr: Bouchahm Yasmina
Dr: Chaouch Salah

Pr : à l université de Constantine
M.C à l université de Constantine
M.C à l'université de Constantine
M.C à l'université de Constantine

Présidente
Rapporteur
Examineur
Examineur

Remerciements :

Je remercie tous mes professeurs de post graduation, Pr Bourbia. F, Dr Abdou. S, Dr Bouchham. Y et toute l'équipe du laboratoire ABE, qui m'ont permis cette formation.

Je remercie spécialement Dr Abdou. S, mon encadreur pour toute l'assistance et orientations qu'il m'a apportées pour la concrétisation de ce travail.

Je remercie également tous mes collègues de la post graduation.

Je tiens aussi à remercier la famille de O ;Ammar (Barika) pour leur accueil et hébergement et m'ont permis de réaliser mon travail.

Je remercie mes parents et toute ma famille, qui m'ont donné, courage et volonté pour mes recherches.

خلاصة البحث :

()
(ECOTECH)

RESUME

Les matériaux de construction actuelle ont plus d'effets néfastes sur la santé de l'homme, les recherches sur l'amiante ont bien démontré que le danger peut bien venir de chez nous, de notre intérieur.

Le concept de développement durable fait aujourd'hui partie intégrante de notre société. Le secteur de la construction a joué un rôle actif dans ce domaine. Synonyme de longévité accrue, la construction durable traduit aussi une vision globale qui tend vers la réalisation d'ouvrages de qualité dans le respect des contraintes liées à l'aménagement du territoire, à l'environnement, aux conditions sociales et au progrès économique.

La terre est un matériau de construction durable. Il est utilisé depuis très longtemps, des villes entièrement en terre crue ont été bâties. Ce remarquable patrimoine culturel universel a été occulté. IL nous faut donc redécouvrir les évidences de ce que certains ont bien cru synonyme de pauvreté et de précarité.

La présente recherche s'intéresse aux qualités techniques et aux performances hygrothermiques du matériau terre et aussi aux différents obstacles qui entravent sa revalorisation. Elle a pour objectif de voir les capacités thermiques de la terre comme matériau de construction et sa contribution à réaliser le confort intérieur. En lui mélangeant la paille, il devient plus performant en matière thermique.

Une investigation sur une maison en terre située à la commune de O.Ammar (Barika) à été effectuée dans le but de voir la contribution du matériau terre à réaliser le confort intérieur.

Parallèlement à cela une simulation à l'aide d'un logiciel ECOTECT (v5.5) a été effectuée pour valider les résultats du terrain et essayer de tester performance du mélange terre/ paille. Une deuxième démarche sous forme de questionnaire à été entreprise à fin de comprendre les facteurs qui entravent la relance du matériau terre.

Les résultats ont montrés que malgré la performance thermique de la terre, il est souhaitable de lui associer des techniques passives en plus de matériau naturel pouvant améliorer ses capacités. L'obstacle psychologique, et l'image de l'architecture traditionnelle sont deux facteurs majeurs qui influent sur le développement de la terre comme matériau de construction.

La revalorisation de l'architecture de terre doit passer par, la revalorisation du patrimoine culturel, la nécessité de la normalisation et la maîtrise technique.

Mots clés : terre, confort thermique, patrimoine et durabilité zone semi-aride.

Abstract:

Modern construction materials are more and more harmful to man's health. Studies on asbestos have proved that we are responsible of that dangers effect.

The concept of sustainable development is a part of mains daily life. Construction sector played an active role in this field. Sustainable construction , which symbolizes longevity, reflects a global view that to a realisation of perfect work in respect to constraints related to territory organization, to the environment, to living conditions and to economical progress. The earth is a sustainable material used a long time; whole cities were built of earth. This universal and cultural patrimony has been ignored. This, we have to rediscover its proofs and efficiency which have been seen by a large number of people as a symbol poverty.

This research is interested both in the technical qualities, and hygrothermic performance of earth. It is, also, interested in identifying the different obstacles that slow its values. Its objective is to see the thermal capacities of earth as a material of construction, and it's contribution in realizing home comfort. Mixed with straw, earth becomes more and more performant thermically.

An investigation on a house built in earth situated in ouled ammar (Barika) a village near Barika, had been carried out in order to see (indentify) the contribution of the earth has a material to realize home comfort. At the some time, a simulation carried out using the Ecotect V 5.5 to valited the results obtained on the field, and try to test the earth the earth straw mixture.

A second step, and try to test the earth straw mixture. A second step, consisting in a questionnaire, rad been carried out in order to understand the main factors and raisons which obstruct the re-usage the earth as a material.

Although the results have showed the thermic performance of the earth, it is desirable to associate at a number of passive techniques to improve its efficiency. The psychological obstacle and the image of the traditional architecture are to main factors that influence the development of the earth as a construction material.

To give the architecture of the earth more value, we should re-qualify the cultural patrimony, the necessity of normalization and the mastery of the technique.

Key: earth, thermal comfort, patrimony and durability, semiarid zone

TABLE DE MATIERES

Introduction générale et définition du champ de champ de recherche	
• introduction générale	1
• les intérêts de l'architecture de terre crue	2
• problématique de la recherche	4
• hypothèses de la recherche	5
• objectifs de la recherche	6
• méthodologie de recherche	6
I <u>CHAPITRE : approche environnementale</u>	
I.1 Introduction	9
I.2 influence de l'homme sur l'environnement a travers les différentes époques	9
I.3 les risques environnementaux majeurs	10
I.3.1 l'effet de serre	10
I.3.2 l'épuisement des ressources	14
I.3.3 la pollution de l'air, de l'eau et des sols	15
I.3.4 l'iniquité dans le partage des richesses	17
I.4 architecture, environnement et santé	17
I.4.1 introduction	
I.4.2 les rayonnements électromagnétiques	18
I.4.3 la radioactivité qui émane des matériaux de construction	20
I.4.4 les risques toxiques lies aux matériaux	22
I.4.5 comment est-on arrive a cette situation ?	28
I.4.6 conclusion	29
I.5 le développement durable, une dynamique d'action	29
I.5.1 les origines du développement durable	29
I.5.2 architecture et développement durable	31
I.5.3 le cycle de vie des matériaux	32
I.5.4 le bâtiment a haute qualité environnementale	34
I.5.5 le rôle de l'architecture	36
I.5.6 les differents types de ressources disponibles	37
I.5.7 qualités des matériaux de construction durables	37
I.5.8 comment les ressources peuvent-elles être employées?	39
conclusion	40
II. <u>CHAPITRE : le patrimoine une ressource durable</u>	
II.1. introduction	41
II.2 définition du patrimoine	41
II.3 l'architecture et le patrimoine	44
II.4 les architectures entre patrimoine et continuité	45
II.5 pourquoi s'intéresser au patrimoine ?	46
II.5.1 une valeur culturelle et sociale	
II.5.2 un potentiel économique	
II.6 patrimoine architectural et enjeux socio-économiques et culturels	48
II.7 patrimoine architectural en adobe	50
II.8 patrimoine, architecture et crise identitaire	50
II.9 optimiser l'utilisation des ressources locales, en respectant les environnements	51
II.10 Revalorisation du patrimoine architectural (architecture de terre)	53
II.10.1 hassan fathy et la terre : gourna un projet ambitieux	53
II.10.2 l'architecture en terre en Algerie	57
II.10.3 réalisations contemporaines occidentales	59

III CHAPITRE : la terre, de la matière au matériau		
III.1	introduction	70
III.2	connaître la matière	72
III.3	définition de la terre:	72
III.4	les composants de la terre	72
	3.4.1 cailloux	
	3.4.2 graviers	
	3.4.3 sables	
	3.4.4 silts	
	3.4.5 argiles	
	3.4.6 colloïdes	
III.5	la genèse de la terre	73
	3.5.1 de la géologie à l'architecture	
	3.5.2 pédogenèse	
III.6	rôle de chaque constituant	75
	III.6.1 les grains	
	III.6.2 les argiles	
III.1	la texture	80
III.2	cohésion capillaire	80
III.3	granulométrie	82
	3.9.1 cailloux	
	3.9.2 graviers	
	3.9.3 sables	
	3.9.4 silts	
	3.9.5 argiles	
	3.9.6 colloïdes	
III.4	les avantages de la terre	84
	3.11.1 avantages pour l'environnement	
	3.11.2 avantages économiques	
III.5	les propriétés des constructions en terre crue :	85
	3.11.1 la résistance mécanique :	
	3.11.2 résistance au feu	
	3.11.3 autres qualités et propriétés de la terre :	
	3.11.4 la durabilité :	
III.6	faisabilité du matériau terre	88
	3.12.1 les différents usages de la terre dans la construction	
	3.12.2 les techniques et les procédés de constructions :	
	3.12.3 amélioration et renforcement constructif, antisismique :	
	3.12.4 la stabilisation de la terre	
I	isolation écologique	103
	3.13.1 pourquoi isoler ?	
	3.13.2 qu'est-ce qu'une isolation écologique ?	
	3.13.3 définition de l'isolant	
	3.13.4 principes de l'isolation	
II	isolation hygrothermique de la terre crue	107
III	conclusion	109
IV	CHAPITRE : Terre entre modernité et continuité	110

IV.1	Introduction	110
IV.2	Terre et confort thermique	110
IV.2.1	Evaluation de la performance thermique	
IV.2.2	Evaluation de la performance thermique	
IV.3	Terre et durabilité	120
IV.3.1	Stabilisation	
IV.3.2	Renforcement structurel	
IV.3.3	Amélioration constructive	
IV.4	Masse thermique	134
IV.5	Investigation et enquêtes	136
IV.6	CONCLUSION	137
V	<u>CHAPITRE INVESTIGATION</u>	
V.1.	Introduction	140
V.2.	presentation du cas d'étude	141
V.3.	appareil de mesures	144
V.4.	interprétation des résultats	147
V.4.1	Variation des températures et humidités intérieures et extérieures	
V.4.2	Variation des températures surfaciques	
V.4.3	Conclusion	
V.5.	simulations	151
V.5.4	Introduction	
V.5.5	Description du logiciel ECOTECT V5.5	
V.5.6	Comparaison des températures mesurées et simulées	
V.5.7	Amélioration du matériau terre par la paille	
V.5.8	Comparaison entre les deux cas : terre et terre paille	
V.5.9	Conclusion	
V.6.	Enquête et questionnaire	158
V.6.1	Introduction	
V.6.2	méthode d'enquête	
V.6.3	Structure de l'enquête	
V.6.4	Le questionnaire	
V.6.5	Analyse des résultats	
V.6.6	Conclusion	
	Conclusion générale	165
	Bibliographie	168
	Annexes	173

LISTE DES FIGURES et TABLEAUX

- Figure 1 Appartements collectifs, à Auroville, Inde. (Source: CRATerre)
- Figure 2 Studio en pisé, Tucson, Arizona, 2000 Architecte : Rick Joy (source craterre)

CHAPITRE I

- Figure 3 effet des gaz a effets de serre sur la températures de la terre , du besoin au risque 11
- Figure 4 Une partie des radiations sont absorbés par les gaz a effet de serre ce qui rechauffe la terre 12
- Figure 5 quelque constructions en terre crue au Yemen 37
- Tableau 1 les differnts solvants les plus courants, les constituants et les risques pour la santé 23
- Tableau 2 Tableau comparatifdes énergies induites des different matériaux de construction 34

CHAPITRE II:

- Figure 6 Patrimoine matériel et immatériel 42
- Figure 7 Ghardaia une villes anciennes, entieres, font parfaitement part du paysage moderne 43
- Figure 8 Un patrimoine en architecture de terre, sa concervation est obligatoireet peut etre une source d'inspiration 43
- Figure 9 Tombeau d'Emadghassene, (Batna, Algerie) 45
- Figure 10 des voûtes égyptiennes réalisées sans coffrage, un savoir faire antique 55
- Figure 11- application du savoir faire antique, méthode sans coffrage. (source : construire avec le 56
12 peuple)
- Figure 13 vue intérieure, très bonne intégration de la terre (source craterre) 60
- Figure 14 vue générale sur le projet source craterre.fr 60
- Figure 15 vue interieure montant le contrast de la terre au verre 61
- Figure 16 vue en plan du projet à realiser 62
- Figure 17 vue sur le projet réalisé 62
- Figure 18 Vue intérieur du bâtiment et des sorties d'air à travers les murs en pisé (source craterre) 64
- Figure 19 vue intérieure du batiment 64
- Figure 20 coupe sur le projet 64
- Figure 21 Schéma d'un bloc de pisé de dimension 1,7m x 1,3m x 40 cm d'épaisseur 66
- Figure 22 assemblage et pose de blocs depisé sur le lieu du chantier 67
- Figure 23 vue en plan de l'imprimerie 67
- Tableau 3 l opérations des différentes réalisations en terre en ALGERIE 59

CHAPITRE III

- Figure 24 deux illustrations l'une de la muraille de chine qui tiens toujours debout, l'autre d'un 69
bâtiment moderne en terre, en mode Pisé, en Australie, source : craterre
- Figure 25 Ségrégation dans un tas de terre: naturellement les plus gros grains se retrouvent 75
généralement à la base du tas (sur la circonférence) et les grains fins restent au
sommet (au centre du tas) source : grains de bâtisseurs
- Figure 26 Arc de sable auto stable ; expérimentation de Hugo Houben _ Grains d'Isère 2004) 75
source : carterre

Figure 27	vues au microscope des différents argiles source : gains d'isère, craterre	76
Figure 28	Schéma du pont argileux liant des grains de sable (source : grain d'Isère. craterre)	77
Figure 29	Schéma 2.c : Empilement des feuillets dans des plaquettes d'argile © Van Damme. (Source : doctorat Romain Anger	77
Figure 30	Schéma de la particule de kaolinite, feuillet source :(mémoire DPEA 2002-2004 Laetitia FONTAINE)	78
Figure 31	Arrangement des particules d'argile	79
Figure 32	Pont capillaire entre deux grains (Source : grain de bâtisseurs, craterre)	80
Figure 33	schéma d'un pont capillaire source (mémoire DPEA 2002-2004 Laetitia fontaine.)	80
Figure 34	fuseau granulométrique des terres constructibles source (www.lamaisondurable.com)	86
Figure 35	35 les procédés de production de la terre crue ,source (Craterre)	88
Figure 36	Coffrage métallique et moyens de compactages source: craterre	91
Figure 37	villa privée en Allemagne par : MARTIN RAUCH	91
Figure 38	Bureaux en Hollande méridionale par: tierrafino Carl Giske(sources : www/craterre.fr)	92
Figure 39	un ensemble de cases, en Afrique, construites par le procédé "la bauge" ; flexibilité et facilité d'extensibilité qu'offre le procédé	93
Figure 40	plan d'une construction à étages au Yémen, (source : www/ craterre.fr)	93
Figure 41	Mur extérieur en adobe (terre crue) source craterre	94
Figure 42	les plus anciennes briques découvertes. Source craterre	95
Figure 43	types de bloc, de terre comprimée, et leurs moules	96
Figure 44	champs d'utilisation du BTC, source (craterre)	97
Figure 45	construction en Arabie saoudite, en BTC source CRATERRE	98
Figure 46	type d'enduits en terre	100
Figure 47	type de traitement supports d'enduits en terre	100
Figure 48	variation des températures à l'intérieur d'une bâtisse en brique de terre crue . (source : PLEA 2006 -23rd conférence on passive & low energy architecture Genève Suisse sept 2006	104
Figure 49	influence de l'inertie thermique dans un bâtiment (source) : (www.ademe.fr.)	105
Figure 50	comparaison des variations des températures l'intérieur de 02 constructions : terre & terre paille par rapport aux températures extérieures. (source : matériels PLEA 2006 -23rd conférence on passive & low energy architecture Genève Suisse sept 2006	106
Figure 51	migration de la vapeur d'eau à travers le mur en terre crue	107
Tableau 4	1 Enduits et mortiers de pose diamètres et épaisseurs	99

CHAPITRE IV :

Figure 52	construction en pisé de terre (CSU)	110
Figure 53	construction conventionnelle (LTU)	110
Figure 54	profil des réponses moyennes pour le CSU et LTU	111
Figure 55	rapport de chance montrant l'association entre la température et la satisfaction avec l'environnement de lieu de travail. qui est marqué comme ligne verticale pleine sur le graphique. Les intervalles de confiance qui n'incluent pas un rapport de chance de la notation 2 de 0 sont statistiquement perceptible de 0	111
Figure 56	plan et coupe du bâtiment en pisé de terre, CSU (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)	112
Figure 57	Coïncidence des données psychrométriques mesurées avec le confort d'été et hiver	112
Figure 58	Effet combiné prévu de ventilation accrue de nuit, additionnel isolation et refroidissement hydronique sur des températures de l'air dans le bureau C	114
Figure 59	températures, intérieurs, des différents maisons et extérieurs	114

Figure 60	températures, intérieurs, des différents maisons et extérieurs (source : Hanifi Binici Elsevier 2004)	115
Figure 61	variation du C.C.T en fonction de la densité des spicimens	115
Figure 62	schema du systeme EAHE, et Temperature au sol à 1,5m	116
Figure 63	(a) Température de l'air expérimentale et prévue de la pièce 3 de la construction en janvier	116
Figure 64	coupe sur le bâtiment montrant la ventilation naturelle	117
Figure 65	schema montrant les points de mesures	118
Figure 66	variations de la ventilation et des températures	118
Figure 67	Flux de chaleur mesurés et calculés dans les murs en pisé de terre	119
Figure 68	mesures du flux de chaleur int & ext du mur Est et flux fictif	119
Figure 69	Photo1.1: Molasse : conglomérat de cailloux, Photo1.2: Détail d'un mur en pisé	120
Figure 70	Plinthite découpée en bloc in situ. Et stocke à l'air libre pour durcissement source (doctorat romain anger)	121
Figure 71	forme de fibres mises en oeuvre	123
Figure 72	compression sous compactage static. Effet de méthode de compactage sur la compression sec et immersible	125
Figure 73	spécimen au laboratoire	
Figure 74	spécimen exposés à l'extérieur	125
Figure 75	spicemen , renfort interieur	
Figure 76	spicemen, renfort attaché à l'extérieur	127
Figure 77	Raccordements de renforcement et de doigt pour renforcés les murs	128
Figure 78	Détail de Geogrid horizontal ,Renfort pour les murs renforcés	128
Figure 79	Déformation horizontale de 1.2m au loin 1.8m grand, panneau d'adobe sous le chargement cyclique	129
Figure 80	Déformation horizontale de 2.4m grands, panneau enfoncé de la terre sous le chargement cyclique	129
Figure 81	formes préconisées et celles à éviter	129
Figure 82	résultats des essais sur un modele de forme carree	131
Figure 83	résultats des essais sur un modele de forme circulaire	131
Figure 84	Deformations subits par les deux (3K)& (3J) spicimens	132
Figure 85	comparaison des comportements des deux modeles, source (www.dab.uts.edu.au/ebrf/research/articles.html.)	133
Figure 86	situation des trois echontillons	133
Figure 87	détail des différents murs	134
Figure 88	variation des T° des différents batisses	134
Figure 89	humidités mesurées des deux constructions: brique de terre & bottes de paille	135
Figure 90	températures enregistrées dans les constructions: briques de terre & bottes de pailles	135
Figure 91	Barrières rencontrées par la construction en terre en Zambie	137
Figure 92	facteurs influents la spécification de l'industrie de la construction en terre en Zambie	137
Figure 93	Etat vétuste d'une construction en terre ancienne, en Espagne	137
Tableau 5	consommation d'énergie électrique et gaz par les deux bâtiments	112
Tableau 6	composition des spicimens	112
Tableau 7	absorption totale en eau des spicimens stabilisés par ciment	124
Tableau 8	comparaison d'absorptivité par capillarité avec compactage dynamique et statique	124

CHAPITRE V :

Figure 94	vue d'une dechraat aurasiennne faite purement en terre et materiaux locaux (source : Auteur)	139
Figure 95	les épaisseurs consistants, des murs, un facteur stratégique (source : Auteur)	140
Figure 96	35° 30 N & 5° 09 E, situation géographique du lieu d'investigation	140
Figure 97	détails sur les ouvertures de la pièce d'invités	141
Figure 98	type de fondations en pierres ancrées jusqu'a 50cm dans le sol (source auteur).	142
Figure 99	Type de mur porteur en briques de terre , confectionnées sur site	142
Figure 100	Détail de plancher pour une maison traditionnelle (source Auteur)	142
Figure 101	détail du plafond de la pièce objet de l'investigation,compose d'elements en bois	142
Figure 102	vue générale de l'état de la maison source : auteur)	143
Figure 103	Multimètre& thermomètre utilisés pour mesurer les températures (intérieure et extérieure), surfaciques et la température de l'air	144
Figure 104	variation des températures annuelles	146
Figure 105	Variation des vents au court de l'année	146
Figure 106	Variations des humidités	146
Figure 107	variations de l'insolation annuelle	146
Figure 108	variation des précipitations annuelle	146
Figure 109	variations des températures au long de la période d'investigation	147
Figure 110	variation des températures et humidités, intérieures et exterieures	149
Figure 111	variations des températures surfaciques intérieures et extérieures	151
Figure 112	Comparaison des températures mesurées et simulées	153
Figure 113	charte psychométrique montrant les stratégies passives relatives au cas étudié	154
Figure 114	Zone de confort, et techniques passives, en fonction des T° et humidités pour le mois d'Aout	157
Figure 115	comparaison entre les températures relatives aux deux cas : terre & terre paille	156
Tableau 9	questionnaire et objectifs	159
Tableau10	évaluation globale de l'architecture de terre	162
Tableau11	Materiau et etat du cadre bati elements pregnants dans la perception	162
Tableau12	Obstacles entravant l'évolution de l'architecture de terre	163
Tableau13	l'architecture de terre fait-elle bonne ou mauvaise image	163

1.1 Introduction Générale

Le désir de réaliser le bien être environnemental est une attitude, naturelle, des humains depuis des siècles anciens, dans le but d'établir un équilibre en harmonie avec la nature. Il est tombé en désuétude après la révolution industrielle, à une époque où l'homme a cru à sa puissance et à son omnipotence et puisé sans limites dans les ressources de la planète.¹

A l'instant où l'humanité se rend compte des limites de la planète, il se produit une prise de conscience de l'importance de ne pas porter gravement atteinte aux conditions de vie de nos descendants. Notre mode de vie doit répondre à cette exigence et chercher des solutions alternatives, afin de limiter l'impact des risques majeurs tel que : *l'effet de serre, l'épuisement des ressources, l'iniquité dans le partage des richesses et la pollution de l'air, de l'eau et des sols.*

La volonté de concevoir une architecture qui s'ajuste aux modes de vie ne doit pas faire du secteur du bâtiment un consommateur irraisonné de ressources naturelles. Le secteur de la construction est, à la fois, un gros producteur de déchets, ainsi qu'un gros consommateur de ressources naturelles et d'énergie. Dans cette démarche de construction durable, tous les intervenants du projet doivent jouer leur rôle, pour l'architecte en tant que prescripteur, ses choix ont une importance primordiale.

La transformation de la matière en matériaux est souvent source de pollution, consommatrice d'énergie et quasiment toujours irréversible. Seules les ressources renouvelables sont des gisements durables, pour autant que les terres soient cultivables. Le secteur du bâtiment est aujourd'hui confronté à un enjeu de taille pour atteindre une réelle pratique de développement durable : il va falloir qu'il compte sur la nature plutôt que de la bannir afin de devenir un véritable écosystème.

Le matériau terre se propose comme l'une des solutions les plus prometteuses du fait qu'elle ne génère pas d'émission de carbone lors de sa production². De plus, le matériau, TERRE, est biodégradable et réutilisable.³ La performance, de la terre, en matière d'isolation hygrothermique, permet d'économiser de l'énergie,⁴ procure un confort par rapport à l'environnement et assure une qualité saine de l'atmosphère intérieure.

¹ **Dominique Gauzin-Muller**, l'architecture écologique. ED Le Moniteur, Paris 2001, P12

² **Friedrich Kur**. L'habitat écologique quels matériaux choisir. Edit: Terre vivante 2005, P 68

³ **B.Little T. Morton**, Building With earth in scotland Ed CRU Edinburg 2001 P11

⁴ **H. Houben H. Guillaud** , traité de l'architecture en terre ED. Parenthese Marseille1989. V1 P166.

Introduction générale et définition du champ de recherche

L'architecture de terre recèle plusieurs avantages, sur plusieurs plans tant social, économique, environnemental que culturel, mais actuellement et malgré les difficultés rencontrées dans ces domaines, elle ne constitue qu'une infime partie du cadre bâti et considérée comme architecture rejetée. Bien que ces objectifs soient plutôt globaux, nous devons trouver des solutions adéquates. Chaque région présente des opportunités qu'il faut savoir reconnaître et exploiter. La revalorisation de l'architecture de terre et l'exploration de la matière, terre, permet et contribue à préserver l'environnement.⁵

1.2 Les intérêts de l'architecture de terre crue

Le patrimoine architectural est chargé de beaucoup de potentiel qui peu apporter des solutions valables aux crises et problèmes de notre époque. Une époque sinistrée qui; épuisée de ses ressources, menace la vie sur terre. L'architecture de terre est rejetée pour être synonyme de précarité de pauvreté et de sous développement. Elle a représenté souvent la maison du pauvre ou l'habitat de la pénurie.⁶

La terre crue fut la matière de base des constructions depuis l'antiquité, elle fut utilisée, pour la construction de la ville de (Jerico), au septième siècle Av_J.C pour la construction de la tour de Babylone sur une hauteur qui atteint neuf étages, elle fut donc utilisée à grande échelle, et le secret revient à son adaptation au conditions économiques et climatiques.⁷

La terre est une matière qu'on retrouve partout, son utilisation jusqu'à nos jours est acceptée, essentiellement dans les régions rurales⁸. Des pays à haute technicité, grâce au travail des chercheurs, scientifiques et architectes, font progresser l'approche de procédés nouveaux d'amalgame et de façonnement des terres. Des réalisations exemplaires et souvent cossues dépassant largement l'échelle de prototype, se multiplient aux Etat unies, et les organismes spécialisés des nations unies, les agences de coopération multilatérales ou bilatérales encouragent des programmes expérimentaux dans les pays en développement, et plus spécialement dans les pays les moins avancés, susceptibles d'apporter à un habitat populaire, rural autant qu'urbain, des solutions économiques⁹.

⁵ د. محي الدين سلقيني . العمارة البيئية . دار قابس 1994 صفحة 148

⁶ Jacques Mullender , Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Centre George Pompidou 1982 P5

⁷ محي الدين سلقيني العمارة البيئية صفحة 152 دار قابس 1991

⁸ Jacques Mullender , Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire Centre George Pompidou 1982

⁹ IBID

Introduction générale et définition du champ de recherche

L'architecture de terre peut offrir toute une gamme de produits architecturaux allant du logement social, collectif à l'habitat de haut standing, les œuvres, faites en terre, de Martin Rauch et de Sverre Fehn, donnent de meilleures exemples pour des populations aisées. L'expérience française à Mayotte,¹⁰ montre que l'architecture de terre donne un champ plus vaste au marché immobilier, et offre plus de possibilités aux promoteurs face au monopole des produits conventionnels. La variété des procédés de constructions en terre permet d'absorber le chômage, et ouvre ainsi un grand marché pour l'emploi qui assimile aussi bien une main d'œuvre peu qualifiée que des cadres de haut niveau.

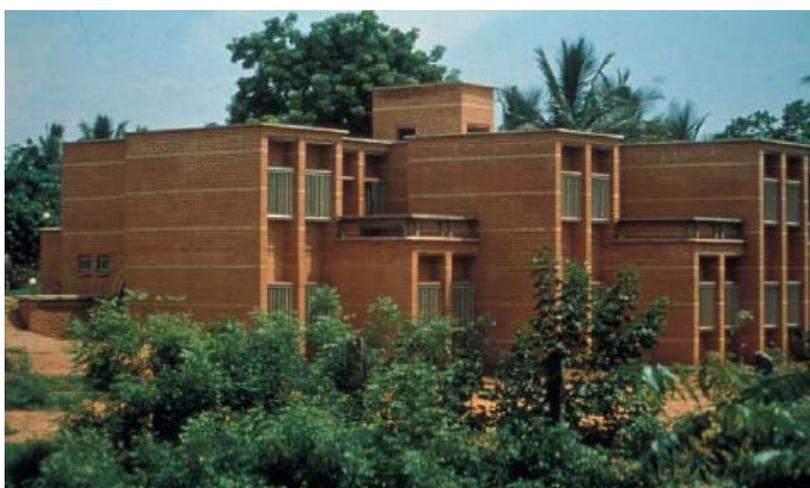


Figure 1 Appartements collectifs, à Auroville, Inde. (Source: CRATerre)



Figure 2 Studio en pisé, Tucson, Arizona, 2000 Architecte : Rick Joy (source craterre)

¹⁰ <http://www.craterre.archi.fr/> consulté 2007

Introduction générale et définition du champ de recherche

Le maintien des populations rurales, dans leurs environnement, est un autre avantage de la revalorisation de l'architecture de terre, ainsi le matériau, terre, localement produit, favorise le développement économique local et devient un moyen de fixation des population rurales tentées par la migration vers les grandes villes.

La qualité d'isolation de la terre permet d'économiser de l'énergie, en effet un gain en énergie allant de 50% à 90% pour une couche d'argile expansée couverte de 40 cm de terre gazonnée comparé à l'isolation classique des toitures.¹¹ Le matériau terre permet aussi de préserver l'environnement. Les constructions en terre crue produisent très peu de pollution pendant leur cycle de vie, le matériau ne demande que très peu de traitements. En l'occurrence le matériau peut très bien être réutilisé (recyclé) ou revenir à son état initial, contrairement à la plus part des matériaux industrialisés qui sont très polluants.

Sur le plan santé la terre, comme matériau de construction, peut avoir des retombées bénéfiques, en assurant une bonne qualité de l'atmosphère intérieure par la régulation de l'humidité relative.¹² En effet la terre peut absorber jusqu'à 3% de son poids en vapeur d'eau et peut la restituer en cas d'assèchement de l'air environnant.¹³

La revalorisation de l'architecture de terre relance la relation entre l'homme et son environnement architectural représenté par les volumes, les formes, les arts et le patrimoine issue de son échelle humain.

Le but général nous conduit à réfléchir de nouveau afin de fonder des bases et règles d'une architecture qui se marie harmonieusement avec son l'environnement, le patrimoine et l'homme, dans une époque ou la nature perd son équilibre et l'explosion démographique devient inquiétante. L'architecte est invité à jouer son rôle d'innovateur afin d'éviter et amortir la catastrophe¹⁴.

1.3 Problématique de la recherche

L'évolution du concept du développement durable nous, emmène à une notion plus globalisante faisant intervenir en outre les liens avec la santé et la gestion des différentes étapes de la vie d'un bâtiment (chantier, déconstruction) on parle donc de bâtiment à haute qualité environnementale.(HQE)

¹¹ **H. Houben H.Guillaud** , Traité d'architecture en terre , Ed. Parenthese , Marseille, 1989 v1 P166

¹² **Becky Little, Tom Morton** , Building with earth in scotland , Ed CRU,Edinburg 2001 P 9

¹³ ibid

¹⁴ د: محي الدين سلقيني ، العمارة البيئية . دار قابوس 1994 صفحة 152

Introduction générale et définition du champ de recherche

Le marché mondial de la construction est confronté à la montée en puissance d'une conscience écologique soucieuse de la création d'édifices sains et confortables - peu voraces en énergie et respectueuse de l'environnement. La terre comme matériau de construction réapparaît ainsi comme une alternative économique, écologique et esthétique qui offre une grande souplesse d'adaptation aux exigences contemporaines. Les techniques de mise en oeuvre traditionnelles ont ainsi été modernisées et ont permis l'apparition d'une vaste gamme de produits et de techniques de construction en terre.

Dans le champ de la recherche dans ce domaine, différentes pistes ont été explorées afin d'approfondir les connaissances sur l'architecture de terre et renouer avec le patrimoine. Il est intéressant de savoir :

- 1- Les caractéristiques physiques de la matière terre.
- 2- Pratique constructive traditionnelle et moderne en terre crue.

Notre problématique est liée aussi aux obstacles psychologiques, l'étude de ces derniers permettrait de mieux comprendre l'aspect de l'architecture de terre qui n'a été que très peu étudiée et comprendre aussi la nature de ces résistances psychologiques, qui entravent son évolution à l'échelle nationale.

Comme nous pouvons aussi explorer les façons de moderniser et mettre les avantages de ce matériaux au premier plan et ses possibilités de devenir une solution durable, écologique...etc.

Bien utilisé le matériau terre offre partout un confort thermique très apprécié qui assure une régulation naturelle optimale entre les températures extérieures et intérieures.

1.3 Hypothèses de la recherche :

Pourquoi utiliser des matériaux artificiels à hautes performances mécaniques et au contenu énergétique (pour leur fabrication) important pour construire des structures toutes modestes comme les habitations individuelles ?

Pourquoi développer des cloisons et des super isolants minces et, en parallèle, aller chercher à plusieurs mètres sous terre, par pompe à chaleur interposée, l'inertie thermique nécessaire à la climatisation, alors qu'un mur de terre peut apporter à la fois isolation et climatisation. Pourquoi centraliser en usine puis transporter ce qu'un artisan peut faire sur chantier avec des matériaux locaux ?

Le comportement instinctif de l'homme l'a conduit à utiliser pour se protéger, des abris créés par la nature .il construit par la suite ses architectures à partir des matériaux qui

Introduction générale et définition du champ de recherche

l'environnaient, l'architecture acquit ainsi, au bout de cette évolution, la liberté de ses formes et de ses procédés de construction, mais cette liberté dans la création induisit une dépendance économique vis à vis des sources d'énergies et du système productif des composants de la construction, éclaté entre de nombreux participants

- L'utilisation de terre comme matériau de construction peut être adapté comme une solution concrète à nos désirs de développement durable, et soit adaptée aux contraintes climatiques tout en l'associant à d'autres matériaux naturels, et l'utiliser en procédés adéquats.
- Les capacités, de la terre, notamment le mélange terre/paille, en matière d'isolation hygrothermique sont performantes, au point de réaliser un confort thermiques, dans des conditions climatiques caniculaires.
- Les recherches récentes sur la terre, en vu de la moderniser et l'explorer, peuvent conduire à l'inclure dans le cadre actuel moderne et sophistiqué, et lui enlever le sens d'ancien et précaire.
- L'abstention de l'utilisation de la terre d'une façon générale et spontanée est liée à un refus de la part des responsables, des professionnels tels « architectes » ainsi que les simples citoyens qui l'associent généralement à la pauvreté et à la précarité.

1.4 Objectifs De La Recherche :

L'objectif premier de cette recherche est de lever le voile, sur le matériau terre considéré comme le noyau d'une architecture qui a beaucoup fait parler d'elle, dans le but de le connaître profondément et trouver le moyen de l'intégrer dans le concept du développement durable, en mettant l'accent sur ses avantages écologiques, environnementaux et découvrir aussi ses performances hygrothermiques.

Le second objectif est de voir comment se présente l'image de l'architecture de terre aujourd'hui aux yeux des différentes tranches de la population, ainsi nous comprendrons quels sont les éléments qui contribuent à son évaluation négative.

1. 5 Méthodologie de recherche :

Sur le plan méthodologique, l'étude tente de mettre en évidence les différentes formes d'utilisation de la terre pour répondre aux problèmes d'inconfort thermique et ouvrir une perspective sur une possibilité de son utilisation à grande échelle, en l'adaptant comme matériau

Introduction générale et définition du champ de recherche

de construction écologique. De même le point sera mis sur la compréhension de la matière terre, dont le but de maîtriser sa mise en œuvre de manière technique.

Il est estimé que le patrimoine architectural est source d'inspiration et de beaucoup de solutions ; l'architecture de terre en est une icône de ce riche patrimoine que nous ne pouvons éviter au sens de cette recherche.

Ainsi le travail de la présente recherche est reparti en trois parties :

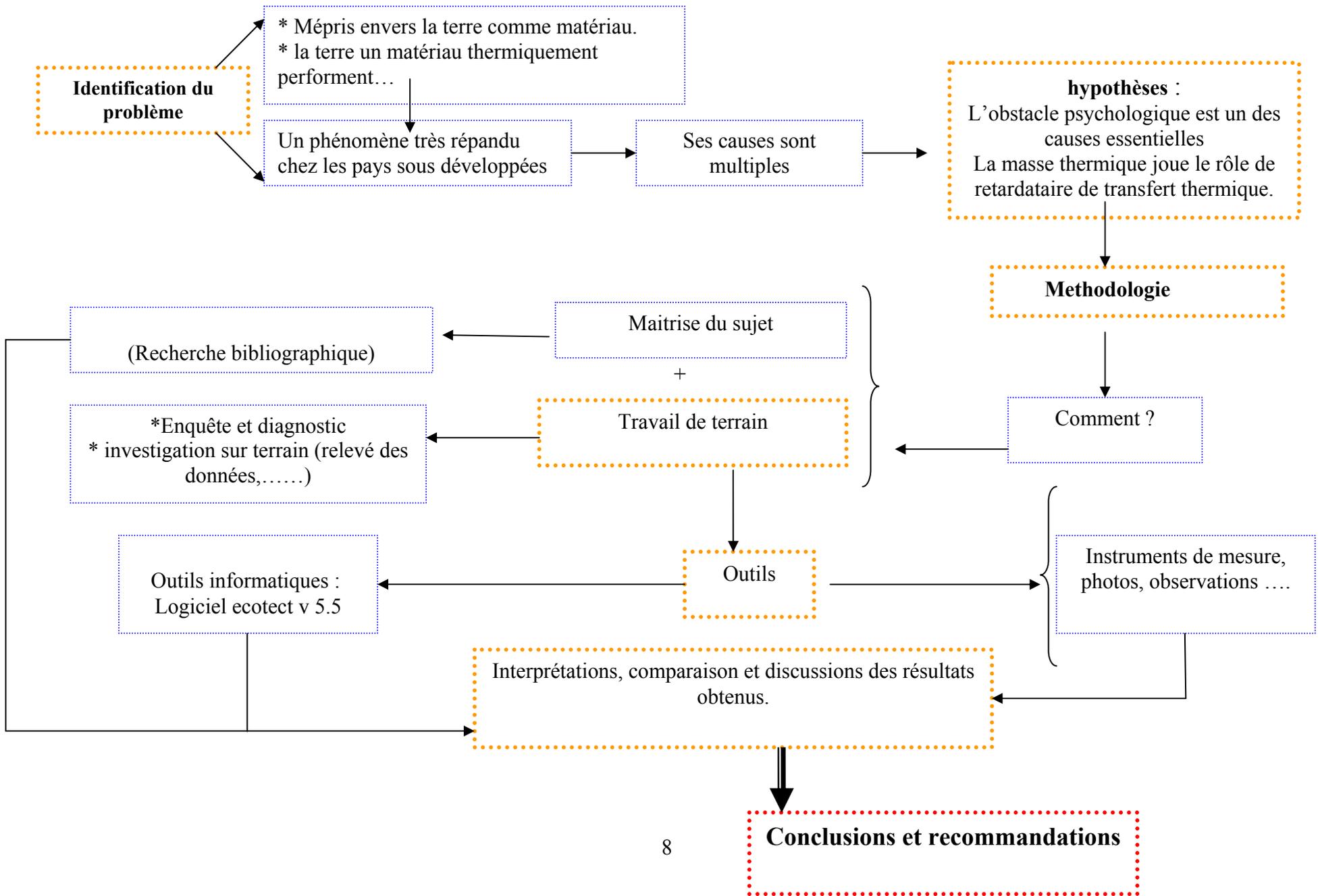
Une première, qui consiste en une recherche bibliographique et documentaire visant à mettre en valeurs à la fois, les risques qu'encourt l'humanité, par l'utilisation de matériaux modernes à tous les niveaux, la mise en exergue des avantages écologiques et environnementaux que présente le matériau terre crue, par une connaissance approfondie de la matière avant et après qu'il soit un matériau. Aussi une analyse de quelque projet réalisés en terre nous montrera la possibilité de moderniser la matière terre.

La deuxième partie est une investigation sur une construction à usage d'habitation, construite entièrement en terre crue, située dans une zone climatique semi-aride, elle met le point sur les capacités du matériau terre à réaliser le confort hygrothermique à l'intérieur des espaces, en période estivale critique, caractérisée par de fortes chaleurs et de fortes sécheresse. L'investigation est basée sur des mesures, horaires, de températures et d'humidités intérieures et extérieures à l'aide d'outils et instruments adéquats. Ensuite, une vérification des résultats, obtenus, est exécutée par simulation, à l'aide du logiciel ECOTECT v5.5, un programme fiable et efficace.

Une troisième partie consacrée à mener une investigation sur le terrain, sous forme d'enquête exploratrice et par questionnement, afin de réaliser un diagnostic qui nous permettrait de relever de façon systématique les causes du refus, des professionnels et autres tranches de la société envers l'utilisation du matériau terre, enfin de connaître les différents éléments qui affectent l'image de l'architecture de terre.

La conclusion de la recherche laisse apparaître l'importance de la matière terre sur le plan environnemental, écologique et hygrothermique, ainsi la possibilité de son insertion dans les courants architecturaux et techniques contemporains et ce par sa souplesse sa simplicité d'exécution. Seulement l'image que reflète l'architecture traditionnelle en terre serait un obstacle majeur pour sa promotion.

RECAPITULATION



CHAPITRE I : APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

Introduction :

L'esprit productif adopté par les humains tout au long du 20ème siècle a dominé tous les domaines de l'activité industrielle, notamment les secteurs de bâtiment. Produire plus, fut le mot d'ordre, sans tenir compte des retombées néfastes sur l'environnement naturel. Les procédés de constructions rationalisent la construction tout en négligeant la qualité, la durabilité, l'adaptation de l'habitat avec son milieu, et ils considèrent l'utilisateur comme un consommateur passif.

Des risques menacent donc l'avenir de l'homme sur la terre. Il est intéressant de savoir choisir des matériaux de construction, plus ils subissent de transformations plus ils sont nocifs à l'environnement et à la santé etc....

I.2 Influence de l'homme sur l'environnement à travers les différentes époques.

A chaque fois que nous analysons plus l'environnement, nous nous rendons compte combien il est important de le sauvegarder.

Le progrès technologique a offert des bienfaits et des risques en même temps. Quand on sait que l'homme est le plus grand destructeur de la nature, nous saurons de quel homme s'agit-il et quelle civilisation représente-t-il, delà les humains doivent s'unir pour sauver l'avenir de leurs générations à venir.¹⁵

L'effet des activités humaines sur l'environnement à travers l'évolution de l'existence de l'homme sur terre, était néfaste, malgré tout le progrès réalisé sur tous les plans. L'homme a connu la culture de la terre, la notion de la vie en communauté stable qui s'est soldée par la formation de grandes villes, et par conséquent :

* une concentration des populations en milieu urbain. Selon le rapport de l'ONU 50% des populations mondiales vivront dans des villes, au début du 21 siècle.¹⁶

* une atteinte aux ressources renouvelables, par effet de pollution, feu de forêt et une surexploitation des ressources, renouvelables, irraisonnée.

* déplacement des populations vers les milieux urbains.

La pollution de l'air est le problème le plus grave qui menace les hommes et spécialement ceux des villes industrielles, et parmi ses conséquences néfastes on compte :

- pluies acides

¹⁵ IBID P226

¹⁶ يحيى وزيرى التصميم الصديق للبيئة "نحو عمارة خضراء" مكتبة مدبولي 2003 صفحة 26

- trou d'ozone
- l'îlot de chaleur au dessus des villes

L'effet néfaste de la pollution s'est étendu vers les bâtiments historiques et les œuvres artistiques, qui ont subis des détériorations considérables sous l'effet des gaz et produits chimiques qui émanent des cheminés industriels.

La maîtrise des transformations des matières a permis de découvrir de plus en plus de nouveaux matériaux, sans se rendre compte des répercussions néfastes qui s'étend et menace l'existence de l'espèce humaine sur terre, en créant une rupture et un déséquilibre écologique, environnemental, économique et même social.¹⁷

L'histoire de l'évolution et l'espérance de l'humain sont interminables, Malgré toutes les réalisations et les réussites sur tous les plans, technologiques, économiques et culturels, il lui est recommandé de ne pas épuiser les ressources naturelles et polluer son environnement, dans le but d'assurer la continuité des générations.

En résumé, en fondant le développement international sur un modèle économique qui fait équivaloir le bien-être humain à la croissance des revenus, la communauté internationale abandonne les considérations morales et éthiques, ignore l'iniquité de la distribution, affaiblit la protection de l'« intérêt » commun et contribue à miner les valeurs intangibles comme la loyauté envers les personnes et les lieux, la communauté, l'autonomie et les moeurs culturelles locales. Le nouvel « économisme » a, entre autres, fait passer l'écart de revenu entre les plus riches et les 20 % plus pauvres de l'humanité de 30:1 à environ 80:1 depuis 1960. En outre, l'économisme en tant que paradigme de développement détruit les écosystèmes, appauvrit la planète et l'esprit humain, et commence à engendrer la violence dans les communautés pauvres.¹⁸

I.3 Les risques environnementaux majeurs

Le progrès de l'homme engendre des risques importants sur l'avenir de la planète, et cause une surexploitation des ressources naturelles par conséquent provoque l'effet de serre et l'épuisement des ressources, la pollution de l'air et des eaux, et aussi l'iniquité dans le partage des richesses. Nous pouvons résumer ces risques comme suit :

I.3.1 l'effet de serre

¹⁷ Ibid P30

¹⁸ **William Rees**, séminaire d'environnement canada en recherche sur les politiques le 13 oct. 2006.
<http://www.ec.gc.ca/> consulté en 2007

1.3.1.1 **Définition : qu'est ce que c'est l'effet de serre ?**

L'effet de serre est un processus naturel de réchauffement du climat qui intervient dans le bilan radiatif et thermique de la Terre. Il est dû aux gaz à effet de serre (G E S) contenus dans l'atmosphère, à savoir principalement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone CO₂ et le méthane CH₄.

Cet effet a été nommé ainsi par analogie avec la pratique en culture et jardinerie de construire des serres laissant passer la chaleur du soleil et la retenant prisonnière à l'intérieur afin de permettre aux plantes de bénéficier d'un microclimat artificiel¹⁹



Figure 3 effet des gaz à effets de serre sur la températures de la terre , du besoin au risque
(Source www.econologie.com)

L'effet de serre procède de l'accumulation dans l'atmosphère du gaz carbonique et d'autres gaz carbonés qui laissent passer le rayonnement solaire mais arrêtent le rayonnement terrestre à grande longueur d'ondes infrarouges correspondant à une émission de chaleur. Les rayons solaires qui traversent l'atmosphère sont en partie absorbés par la croûte terrestre et en partie réfléchis vers l'atmosphère. Plus l'atmosphère contient de gaz dits à effet de serre, plus elle intercepte les rayons renvoyés par la terre pour les refouler vers la terre qui, ainsi se réchauffe.

¹⁹ (www.econologie.com) consulté en mai 2007

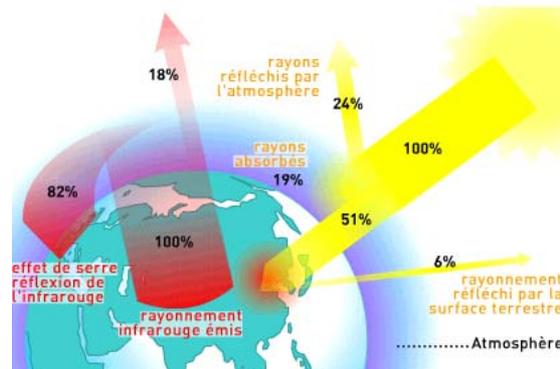


Figure 4 Une partie des radiations sont absorbés par les gaz à effet de serre ce qui rechauffe la terre
(source www.econologie.com)

Les conséquences climatiques de ce réchauffement accéléré sont déjà observables avec la fonte de la calotte glaciaire ainsi qu'avec celle des glaciers des principaux massifs montagneux. La conséquence la plus redoutée des Européens serait le déplacement du Gulf Stream, à qui ils doivent leur climat tempéré. Avec l'éloignement de ce courant océanique le climat de l'Europe s'apparenterait à celui du Canada.

En octobre 2001, quelques jours avant la conférence de Marrakech, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a rendu public un rapport de synthèse sur le changement climatique, destiné aux décideurs politiques. Selon ce rapport le Dérèglement de la machine climatique pourrait durer des millénaires.²⁰

1.3.1.2 Quelles conséquences pour les années à venir ?

a Sur la température :

La température a déjà augmenté de 0.5 ° C en un siècle ce qui peut paraître peu mais on se rend déjà compte des dégâts que cela cause. Si on ne fait rien la température va continuer à augmenter (d'ici un siècle on estime qu'elle va augmenter de 5 ° C).²¹

b Sur l'environnement :

Par la faute de la hausse de la température, la nature va être bouleversée ; là où il pleut beaucoup les précipitations seront encore plus fortes et inversement pour les zones à faibles précipitations.

²⁰ www.ens-lyon.fr/planet-terre/ consulter 2007.

²¹ www.cea.fr/jeunes/themes/climats/ consulter le 2007

On estime que le niveau de la mer remontera de 1 mètre ce qui provoquera l'inondation du littoral de tous les continents, là où vit l'immense majorité (74 % environ soit 4 440 000 personnes) de la population humaine !

De nombreuses îles disparaîtront.

- La fonte des glaces sera de plus en plus rapide ce qui entraînera la disparitions des espèces vivant dans ces milieux (phoques, ours, lion de mer etc).
- D'ici moins d'un siècle les ours auront disparu si l'on ne fait rien.
- Des tempêtes et autres catastrophes climatiques.
- Le pôle nord se réchauffe 2 à 3 fois plus vite que le reste de la planète (dans 100 ans il n'y aura probablement plus de glace en été). Les scientifiques disent que ce qui se passe au pôle nord annonce ce qui va se passer sur tout le reste de la planète. Il faut réagir !
- La température des océans change.
- Les courants océaniques vont changer.
- Il y aura de plus en plus de catastrophes naturelles (cyclone, tempêtes, raz-de-marais .)²²

c) Sur la population :

- Les habitants du littoral (74 % de la population mondiale) devront se déplacer vers l'intérieur des terres pour ne pas être submergé par la montée des eaux.
- Les habitants des villes submergées par les océans perdront tous leurs biens et certains mourront.
- A cause des sécheresses et des inondations, les habitants des régions sinistrées souffriront de famine.
- Les Inuit verront leur période de chasse diminuer et certains de leurs gibiers disparaître. par exemple, (l'ours est menacé de disparition d'ici un siècle).

d) Sur l'économie :

- Dans les régions proches de l'arctique, le sol, en dégelant, va bouger et obliger à refaire toutes les routes et presque tous les bâtiment ce qui coûtera cher.

²² www.econologie.com/ consulte en 2007

- De même après les inondations toutes les constructions seront à refaire ce qui représentera un budget élevé.
- Le recul de la banquise va permettre aux bateaux de passer au Nord de l'Amérique et de l'Asie. Ils pourront ainsi gagner du temps dans le transport des marchandises et du pétrole. C'est sûrement une des raisons pour lesquelles les États-Unis refusent de signer.
- Avec le réchauffement de l'arctique il sera plus facile de creuser des puits de pétrole et on pourra même faire des forages en mer.

1.3.1.3 **Quelques chiffres plutôt effrayants :**

- Un habitant de pays développé rejette 5 tonnes de CO₂ par an.
- Un habitant de pays en développement rejette 400 kg de CO₂ par an.
- 74 % de la population humaine (soit 4 milliards 440 millions de personnes)pourrait être engloutie par les océans si on ne réagit pas assez vite !
- La température a déjà augmenté de 0.5 °C en un siècle.
- Si on ne fait rien la température augmentera de 5°C d'ici un siècle.
- En 150 ans la quantité de CO₂ a augmenté de 50 % dans l'atmosphère.
- Dans 100 ans il n'y aura plus de glace au pôle nord.
- On estime à plus de 3 milliards de tonnes de CO₂ les rejets annuels dans l'atmosphère.
- Les États-Unis déversent par an 10 fois plus de gaz à effet de serre que l'Afrique mais refuse tout de même de signer le protocole de Kyoto.
- Une montée d'un mètre seulement du niveau des océans risquerait d'inonder un demi-million de kilomètres de côtes dans le monde entier²³

1.3.2 **L'épuisement des ressources**

La population du globe est passée de 1,5 milliard en 1900 à 6 milliards en 1999. Les démographes prévoient une relative stabilisation à 8 milliards à partir de 2010. La société de consommation est devenue le modèle de développement prédominant sous l'influence de l'Amérique du Nord qui n'envisage pas de renoncer à son modèle de croissance illimitée.

Les experts prévoient qu'à partir de 2005 la production de pétrole baissera de 3% par an alors que la consommation mondiale continuera de croître d'environ 2% chaque année. On peut

²³Consulte sur site www.econologie.com 2007

craindre un séisme pour l'économie mondiale à partir du moment où la demande sera supérieure à l'offre, et cela d'une façon irréversible.

On peut déjà observer les investissements des grands groupes pétroliers dans les énergies alternatives. William E. Rees, professeur d'économie à l'université de Vancouver, a mis au point le concept d'«empreinte écologique de la ville»²⁴. L'empreinte écologique d'une ville correspond à l'ensemble des territoires qu'il est nécessaire d'exploiter pour répondre aux besoins des citoyens qui y vivent. W.E. Rees a calculé que la consommation correspondant à 1 km² de ville à Vancouver est de 18 km² de boisement, de 10 km² de terres agricoles et de 133 km² d'océan! Au total l'empreinte écologique de Vancouver est 290 fois supérieure à sa surface politique et géographique. La surface d'approvisionnement des grandes villes européennes est de 565 à 1130 fois supérieure à leur surface administrative.²⁵

Si l'humanité veut laisser aux générations futures les mêmes ressources que celles dont elle a disposé, une stratégie d'économie rigoureuse est nécessaire.

1.3.3 **La pollution de l'air, de l'eau et des sols**

Les produits chimiques de synthèse font partie de notre environnement. Nous les trouvons tout aussi bien dans notre nourriture que dans l'air que nous respirons et l'eau que nous buvons. Emis par les matériaux de construction, le mobilier, les produits d'entretien et lors de nos différentes activités de bricolage, ces produits, toxiques, participent largement à la pollution de l'air intérieur de nos maisons. La prise de conscience du public et des instances gouvernementales des effets de la pollution de l'air intérieur sur notre santé est tout à fait récente et demeure encore très faible. Les effets de cette pollution sont nombreux et vont de la simple irritation de nos muqueuses ou stimulation sensorielle à des effets beaucoup plus graves qui peuvent toucher le système respiratoire aussi bien que le système nerveux ou le système gastro-intestinal. Certains polluants chimiques sont classés dans la catégorie des substances cancérigènes. Si on connaît la toxicité de la plupart de ces polluants pris individuellement, on ne connaît pratiquement rien de leur toxicité quand ils sont en mélanges et à de faibles concentrations comme ils se présentent le plus souvent dans l'air intérieur de nos maisons. L'évaluation du risque et des effets de ces mélanges complexes est dans ce cas beaucoup plus délicate.

²⁴ L'empreinte écologique d'une population est la surface totale de terre productive ou d'espace marin nécessaire pour produire une récolte, pour subvenir à ses besoins en énergie et offrir l'espace nécessaire pour construire ces infrastructures.

²⁵ W. Rees in , Julien chaabane DSA (ossature bois spécifique et remplissage) 2006, craterre grenoble

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a récemment défini le SBS (Sick Building Syndrome) ou syndrome des bâtiments malsains, Comme une réaction de la majorité des occupants d'un immeuble à leur environnement intérieur, réaction qui ne peut pas être directement reliée à des causes évidentes telles qu'une exposition à une concentration excessive d'un contaminant connu ou à une défectuosité d'un système de ventilation.²⁶

Le SBS se caractérise par des symptômes d'inconfort et de réactions physiologiques ou sensorielles aiguës: irritation des muqueuses nasales et oculaires, toux, oppression thoracique, fatigue et maux de tête, etc.. Les personnes qui développent le SBS voient généralement leurs symptômes disparaître lorsqu'elles quittent l'immeuble incriminé.

Mais une exposition aux polluants de l'air intérieur peut avoir des conséquences beaucoup plus graves et conduire à la Sensibilisation Chimique Multiple, plus communément appelée MCS (Multiple Chemical Sensitivity).

Des calculs de l'émission en CO² des 744 plus grandes villes du monde excède déjà la capacité d'absorption de l'ensemble du parc forestier de la planète. Et pourtant ces villes ne représentent que 19% de la population mondiale. Une étude comparative, menée par le docteur Nino Künzli, de l'université de Bâle, dans trois pays européens, relevait en septembre 2000, que la pollution de l'air provoquait plus de 40000 morts par an en Suisse, France et Autriche, dont une moitié due aux gaz d'échappement des véhicules²⁷.

On estime que 70% de la population mondiale vivra en ville en 2025. De l'an 2000 à l'an 2015, 600 millions de nouveaux citoyens ne disposeront ni des infrastructures nécessaires à l'alimentation en eau potable et en énergie, ni des infrastructures leur permettant d'évacuer et de traiter les déchets produits.²⁸

Dans l'agriculture, la masse des engrais a diminué tout en restant à la hauteur des niveaux de productivité recherchés. Dans certaines plaines surexploitées, on peut déjà considérer qu'il s'agit d'agriculture hors sol, tant la qualité biologique des sols s'est appauvrie.

Les premiers médecins spécialisés dans la prévention des maladies environnementales, tels Pierre et Suzanne Déoux, lancent un avertissement : « Notre société doit maintenant réfléchir sérieusement aux bénéfices qu'elle retire d'une croissance industrielle et technologique non contrôlée, en les comparant aux coûts qu'elle peut avoir à payer pour la détérioration de la santé

²⁶ <http://www.egroups.com/group/multiple-chemical-sensitivity> (consulte en nov 2006)

²⁷ **julien chaabane** Memoire DSA (ossature bois spécifique et remplissage) 2006 craterre grenoble .

²⁸ الدكتور يحيى وزيرى التصميم المعماري الصديق للبيئة ، نحو عمارة خضراء مكتبة مدبولي 2003 ص23

des générations actuelles et à venir après les changements néfastes survenus dans l'écosystème humain ».

I.3.4 L'Iniquité dans le partage des richesses

L'un des directeurs de la FAO déclarait en décembre 1998 : « La planète produit assez d'aliments pour satisfaire les besoins énergétiques de tous ses habitants, mais la nourriture est inégalement répartie et beaucoup de personnes n'ont pas les moyens de l'acheter... Même dans les pays où la nourriture est suffisante, tous les habitants n'y ont pas accès et l'écart entre les revenus augmente ».

Selon W.E. Rees, un citoyen vivant en Amérique du Nord consomme l'équivalent de 7 à 10 ha. En Allemagne, il ne consomme plus que 4 à 5 ha. En Inde, il consomme 2 ha et au Bangladesh seulement 0,5 ha. Le bien-être dans les pays riches n'est possible que par le déficit écologique existant dans le reste du monde.²⁹

Un citoyen occidental consomme 20 à 60 fois plus qu'un citoyen vivant dans un pays en voie de développement. Pour réduire la consommation des ressources au niveau mondial, il faut en priorité diminuer celle des pays développés. D'ici l'an 2040, les experts estiment que les consommations d'énergie et de matériaux doivent être réduites par dix dans les pays développés si l'on veut stopper l'augmentation des pollutions et plus particulièrement les émissions de CO² qui sont à l'origine de l'effet de serre. L'humanité doit apprendre à croître sans consommer plus. L'iniquité règne aussi dans l'exercice de la citoyenneté, de la responsabilité et de la participation à la décision.³⁰

L'essor de la vie associative et la responsabilisation environnementale vont, dans les décennies à venir, contribuer à faire évoluer le fonctionnement de la démocratie locale.

I.4 Architecture, environnement et santé

Une sensibilité est apparue, venue des pays du Nord européen : l'habitat n'était plus seulement considéré comme une machine à capter les calories gratuites et à les économiser, mais comme une partie intégrante de notre organisme « troisième peau », et à ce titre participant intimement à notre santé.³¹

²⁹ William Rees, Notre empreinte écologique : Lorsque la consommation fait violence, Série de séminaires d'Environnement Canada en recherche sur les politiques 13-10-2000 <http://www.ec.gc.ca/>

³⁰ Ibid

³¹ Jean Pierre Oliva, L'isolation écologique, édition terre vivante 2004 France.

Nos rapports avec la nature ont beaucoup évolué ces dernières années. La méfiance s'installe face aux produits chimiques, tandis que les étiquettes « bio » ou naturelles, fleurissent. L'industrie chimique elle-même se met à vendre des produits « verts », elle qui s'est pourtant faite une spécialité de créer puis de commercialiser des matériaux qui sont tout sauf naturels marketing oblige.

Cette évolution de l'opinion publique n'est pas le fait du hasard. Au début des années soixante, des esprits ouverts commencèrent en effet à douter que la nature soit exploitable à l'infini quiconque est conscient de cette évidence de construire une maison pour sa famille veillera à :

- n'utiliser qu'avec parcimonie le matériau et les sources d'énergies non renouvelables, et préférer ceux et celles qui se recréent en permanence dans des cycles naturels.
- Faire preuve de discernement quant aux propriétés des matériaux et à certaines astuces de construction, pour garantir la durabilité du bâtiment.
- Réguler l'atmosphère intérieure du bâtiment pour qu'elle soit agréable par tout les temps et en toutes saisons.
- Ce préoccuper de la fin de vie de la maison, lorsque les démolisseurs seront à l'œuvre, afin qu'ils puissent réutiliser le plus possible les matériaux ou le éliminer sans frais ni dangers pour l'environnement.³²

Souvent les nouveaux occupants d'un logement neuf ou rénové se plaignent de divers maux :

(-Réactions allergiques, yeux qui pleurent, irritation des voies respiratoires, trouble du sommeil, ou encore manifestation de nervosité).

Le responsable pourra être une peinture, une garniture d'étanchéité, une colle contenant des solvants, un monomère issue de la synthèse de matière plastique ou un produit de protection du bois.

I.4.1 Les Rayonnements électromagnétiques :

L'habitat outre son environnement climatique est posé sur un sol, et ce sol n'est pas simple support passif : des réseaux électromagnétiques le parcourent et des discontinuités géophysiques de l'écorce terrestre peuvent interférer avec ces réseaux, et avoir des influences sur le bien être voir la santé des êtres vivants à la surface.

³² ibid

Pour pouvoir vivre sainement sur un coin de la planète, il faut être attentif, à la structure caché du terrain qui recèle des pièges à éviter s'il l'on veut rester en bonne santé.

Des failles, des courants d'eau un réseau maillé de lignes nerveuses devaient être pris en considération dès l'implantation de la construction sur le terrain, puis pour l'établissement du plan, en fin pour l'aménagement des espaces vitaux intérieurs. A cela s'ajoute des influences électriques en provenance de diverses installation (lignes électriques, transformateurs réseaux câblés) extérieures ou intérieures, qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé.

La présence d'eau ou de ressources minières dans le sous sol a un impact direct et sensible sur le corps particulièrement sensible de certaines personnes, telles que les sourciers ou les radiesthésistes. Pour l'instant, on n'en sait pas plus sur ce qui détermine les réactions des radiesthésistes que sur ce qui influence le corps de ces personnes baromètres. Est ce que ce sont des modifications minimales de la résistance électrique de sol ? Ou bien des micros vibrations localisées du champ magnétique terrestre ? Ou une autre cause mystérieuse.

Les spécialistes de la construction saine s'intéressent également aux phénomènes électromagnétiques dans la maison. Il semblerait que l'absence d'interférences électromagnétiques soit un facteur important pour la santé et le bien être des habitants, ce que réfutent les sceptiques au nom de la rationalité scientifique.

Par phénomènes électromagnétiques, on entend, dans ce contexte là, toutes sortes de manifestations de nature électrique ou magnétiques, telles que des champs, des courants de différentes fréquences ou des rayonnements. Même sans installation artificielles, ces phénomènes existent le microclimat électrique d'une pièce n'est pas du tout uniforme. Il suffit qu'une personne se déplace dans la chambre pour qu'il se modifie. Les interactions sont constantes entre le corps humain –la résistance de sa peau et son champ électromagnétique- et les objets ou les phénomènes qui l'entourent.³³ Dans des circonstances ordinaires, on ne constate rien car le corps et son environnement immédiat sont en situations dites équipotentielles. Les courants électromagnétiques peuvent eux aussi provoquer des perturbations des champs électriques. La nature est pleine de sources électromagnétiques qui remplissent l'air d'ondes de toutes longueurs et de toutes fréquences d'origine à la fois terrestre et cosmiques même les hommes préhistoriques subissaient cette douche d'ondes.

³³ Friedrich KUR, L'HABITAT ECOLOGIQUE (quels matériaux). édition Terre Vivante 2005

I.4.2 La Radioactivité Qui émane des matériaux de construction :

Nous sommes environnés et traversés de radioactivité naturelle. Elle peut provenir de l'espace on appelle alors ce phénomène rayonnement cosmique (rayon gamma). Si elle provient des sols c'est un rayonnement dit terrestre de type (alpha beta gamma). Des substances présentes dans l'air et dans la nourriture peuvent aussi avoir leur propre rayonnement (rayon alpha beta). Dans la construction ; on parle surtout d'un **gaz rare radioactif, le radon**. Ce gaz était déjà célèbre dans les débuts de la balnéothérapie. Les centres de cures se prévalaient d'offrir à leur clientèles de bonnes émanations.

Naturellement présent dans l'atmosphère, le radon est un gaz radioactif cancérigène pulmonaire qui peut se trouver à des doses importantes dans les milieux clos. Que faire pour prévenir ce risque ? ³⁴

Le radon diffuse un rayonnement alpha. Quand il se décompose ; il libère un atome d'hélium qui constitue la particule alpha ; ces particules ne sont pas très puissantes énergétiquement parlant ; mais leur potentiel de mutation est plus grand que tous les autres rayonnements corpusculaires. Elles n'ont pas de rayon d'action très grand- à peine quelques centimètres ; elles ne sont donc pas dangereuses hors du corps. Par contre inhalé dans les poumons ; le radon agit par irradiation avec son cortège de sous-produits à courte durée de vie, les isotopes des métaux lourds : polonium ; bismuth ; et plomb, ce dernier étant fréquemment à son tour un émetteur de rayon alpha.

Le radon reconnu comme cancérigène par les instances internationales compétentes, le radon fait désormais l'objet de mesures réglementaires et incitatives qui visent à en limiter l'exposition auprès des populations. Gaz rare, le radon n'en est pas moins omniprésent. Il provient de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il se diffuse dans l'air à partir du sol. Les terrains granitiques et volcaniques représentent les principales sources de radon. Dans les bâtiments clos ou les milieux confinés, sa concentration peut même devenir dangereuse.³⁵

Le radon naît de la désintégration du radium 226 et du thorium 232 (en passant par une forme de radium, le 224). Sa concentration un peu plus élevée à l'intérieur des maisons qu'à l'air libre.

³⁴ Ibid

³⁵ Ibid

Elle est également dépendante de la latitude ; plus élevée dans la région méridionale que septentrionales.

Robert J Schwankner a mesuré une concentration de radon à l'air libre variant entre 8 et 23 becquerels par mètre cube d'air (Bq /m³) avec une augmentation générale du Nord au Sud de l'Allemagne.

Un autre chercheur ; H Schmier, a analysés environ 6000 logements à partir de mars 1984. Il a observé une concentration de 40Bq/m³ dans la moitié des logements, et 10%d'entre eux présentaient une concentration de plus de 80Bq/m³, tandis que 1% atteignaient plus de 220 Bq /m³ ; il a mesuré, dans dix logements, des taux de radon supérieur a 500 Bq /m³.

On est largement au dessus des seuils de tolérances recommandes par la commission internationale de protection contre les radiations, pour l'air confiné des logements. Ces valeurs sont de 100 Bq/m³ pour les immeubles neufs et de 200 Bq/m³ pour les bâtiments anciens.

Une étude plus récente du ministère bavarois de l'environnement donnait, pour la ville de Neumburg-am-Wald en hiver 1991 (en hiver, l'air des logements est moins bien renouvelé qu'en été), des teneurs moyennes en radon, a l'intérieur de la moitié des appartements observés, de 415Bq/m³, tandis que des pointes à plus de 1000Bq/m³ étaient constatées dans quelques cas.

Les taux étaient particulièrement élevées dans les constructions anciennes, bien qu'elles aient été réalisées en matériaux naturels colombage avec remplissage d'argile ou pierres naturelle.

L'origine des hautes teneurs en radon est à rechercher dans le dégagement naturel de gaz en provenance du sol. Suivant les région on peut constaté des variations de concentration allant de 1à 10, pour les constructions de même type, bâties avec les mêmes matériaux.³⁶

En comparaison du radon de provenance du sol, les émanations des matériaux de construction eux-mêmes sont généralement faibles. En plus de cela le transfert du radon du mur à l'air de la pièce ne dépend pas tant de la teneur en radium ou en thorium du matériau de construction, que de sa résistance à la diffusion.

Voici quelques repères pour s'y trouver.

Sont plus radioactifs :

- les immeubles construits sur des terrains granitiques
- les sols provenant de roches volcaniques

³⁶ IBID P31

- les anciennes maisons à colombages ; sur caves en terre battue ou excavées dans la roche
- les habitations sans sous sol ou seulement partiellement excavées
- les pièces du rez de chaussée, voire les logements semi enterrés.

Sont particulièrement touchés par le phénomène :

- les locaux mal ventilés, le maximum étant atteint dans les logements confinés et inoccupés depuis longtemps.

Sont moins radioactif :

- les sols sur roches calcaires
- les revêtements en roches sédimentaires contenant du quartz (type molasse)
- les maisons neuf posées sur radier en béton qui leur sert de bouclier
- les habitations construites sur un étage de cave
- les étages supérieurs d'immeuble puisque la présence de radon d'origine terrestre décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sol

En d'autres termes, si vous voulez éviter de respirer trop de radon, ne cherchez pas trop du côté des matériaux de construction ; une bonne aération quotidienne vaut mieux que la plus pointilleuse des recherches documentaires.

1.4.3 Les Risques toxiques liés aux matériaux

Avant, presque tous les matériaux étaient fabriqués à partir de procédés traditionnels peu ou pas toxiques. Bien sûr, on connaissait déjà toute sorte de substances, dont on sait aujourd'hui avec plus au moins de certitude qu'elles sont à l'origine de divers problèmes de santé tel que ; - (allergies empoisonnement, cancers et même mutation génétiques) ; à l'époque on se préoccupait pas trop de ces questions. Aujourd'hui, la population en générale a pris conscience des dangers que représentent pour leur santé divers produits courants destinés à la construction. Cela a poussé les fabricants de produits solvants, colle ou autres matières synthétiques à prendre en compte les préoccupations de leurs clients. Sur certaines questions, l'avance écologique est loin d'être suffisante.

Tableau 1 les differnts solvants les plus courants, les constituants et les risques pour la santé**Sources (l'habitat ecologique , quels matériaux choisir) Friedrich Kur**

<u>Principaux solvants utilisés dans l'habitat</u>		
<u>Nom</u>	<u>Produits pouvant en renfermer</u>	<u>Risques pour la santé</u>
<u>ALCANE</u>		
Heptane	White-spirit, dilluants universels, nettoyants pour pinceaux, peintures, laques et colles	Atteintes au cerveau ; au système nerveux, et au foie, anémies, troubles de la circulation.
Hexane	Essences minérales légères, dilluants universels, laques et colles à séchage rapide	Atteintes au cerveau ; au système nerveux, atrophies musculaires allergisantes, irritant pour la peau et les muqueuses
Nonane	White-spirit, dilluants universels, nettoyants pour pinceaux, peintures, laques et colles	Atteinte possible au cerveau et au système nerveux
Octane	White-spirit, dilluants universels, nettoyants pour pinceaux, peintures, laques et colles	Atteinte possible au cerveau et au système nerveux
Pentane	Essences minérales légères détergent, huiles et graisses	Atteinte au cerveau et au système nerveux, allergisant, irritant pour la peau et muqueuse
<u>ALCOOLS</u>		
Butanol (ou alcool butylique)	Gomme-laques, laques cellulosiques et autres colles, laques et peintures synthétiques	Atteintes au cerveau, système nerveux irritant pour la peau et les muqueuses
Ethanol	Peintures naturelles, laques cellulosiques, gomme-laques détergents	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie
Isopropanol	Gomme-laques, laques cellulosiques, et autres colles, laques et peintures synthétiques	Atteinte au cerveau et au système nerveux et au foie, irritant pour la peau et les muqueuses
Méthanol (alcool méthylique)	Très répandu dans les colles, peintures et laques spéciales.	Atteinte au cerveau, au système nerveux, perte de la vue. Classé très toxique
Phénylméthanol ou (alcool phénylméthylique)	Laques cellulosiques, et autres colles, laques et peintures synthétiques	Atteinte possible au cerveau et au système nerveux irritant pour la peau et les muqueuses
Propanol ou (alcoolpropylique)	Gomme-laques, laques cellulosiques et autres colles, laques et peintures synthétiques	Atteinte possible au cerveau et au système nerveux et au foie

Composés aromatiques

Ethyl-benzene	Nombreuses colles, laques et peintures synthétiques, cires, nettoyants pour pinceaux, diluants universels	Atteintes au cerveau, au système nerveux, hémorragie de la peau et des muqueuses, pénètre dans l'organisme à travers la peau
Styrène	Toutes les colles, laques et peintures polyester	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie peut être cancérigène
Xylène	Nombreuses colles, laques et peintures synthétiques, cires, nettoyants pour pinceaux, diluants universels	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie peut être cancérigène
HYDROCARBURES CHLORES		
Dichloro-méthane	Décapants tres puissants, caoutchoucs chlorés colles laques chlorées	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie peut être cancérigène
Perchlo-réthylène (tetrachloréthylène)	Dégraissage des métaux, nettoyage a sec	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie peut être cancérigène
ESTERS		
Acetate de butyl	Colles et peintures au polyvinylacétate, caoutchoucs chlorés, acrylates et nitrocellulose	Atteinte au cerveau, au système nerveux et au foie peut être cancérigène
Acetate d'éthylglycol	Gommes laques et autres laques à séchage rapide, caoutchoucs chlorés, acrylates, polusters	Atteinte au cerveau, au système nerveux, pénètre dans l'organisme à travers la peau
Acetate de méthyle	Laques celluloses, polyesters, résines carbamides, mélanines et phénoliques	Atteinte au cerveau, au système nerveux, pénètre dans l'organisme à travers la peau
ETHERS		
Butylglycol (2- butyl-glycol 2- butoxy-éthanol	Gommes Laqués ,laques celluloses résines alkydes,caoutchoucs chlorés,acrylates, carbamides.	Atteinte au cerveau, au système nerveux, pénètre dans l'organisme à travers la peau
Diéthyléther	Gommes Laqués ,laques celluloses	Atteinte au cerveau, au système nerveux, peut provoquer des anémies
Ethylglycol	Gommes Laqués ,laques celluloses résines alkydes,caoutchoucs chlorés,acrylates, carbamides.mélanines et phénoliques	Atteinte au cerveau, au système nerveux, pénètre dans l'organisme à travers la peau
Tetrahydro-furane	Acrylates,polyvinylacétate (PVAC) chlorure	Tendance a la perte de connaissance e

	de polyviyle (PVC) Caoutchoucs chlorés	ventuellement atteinte au foie et aux reins
CETONES		
Acétone (2- Propanol diemethyl-cetone)	Laques a séchage rapide, caoutchoucs chlorés	Atteinte au cerveau, au système nerveux, eczémas, également anémies dans les cas graves
cyclohexanone	Laques asechage rapide, caoutchoucs chlorés, vernis a ongles, bitumes polyvinylacétate (PVAC) polyvinylbutyrat (PVB)	Atteinte au cerveau, au système nerveux,
Méthyléthyl- cetone	Laques et colles a sechage rapide	Atteinte au cerveau, au système nerveux, oedemes pulmonaires atteinte au foie et aux reins
Méthyliso-butycetone (4- methyl-pentane	Laques et colles a sechage rapide, polyester, polychlorure de vinyle (PVC)	Atteinte au cerveau, au système nerveux,
TERPENES		
Terpene d'agrumes	Peinture Laques et lasures naturelles	Allergies, quelques fois potentiellement cancérogène.
Huile de térébenthine	Peinture Laques et lasures , colles polyvinyle acétate, polyvinyle butyrate	Allergies, eczemas galles du peintre

Les matières synthétiques sont composées de monomères qui ne sont pas aussi inoffensifs que leur usage courant laisserait supposer³⁷. Même après leur mise en place, ils continuent à diffuser des gaz toxiques. Cette évaporation diminue avec le temps. Les plus dangereux sont :

1.4.3 .1 Le Formaldéhyde

Le formaldéhyde est un gaz très toxique, incolore et irritant les muqueuses, dont on peut détecter la présence à des concentrations inférieures à 1partie par million (1ppm). Il est fabriqué a partir de méthanol et constitue l'un des produits de base les plus importants pour l'industrie chimique.

Deux tiers de la production annuelle totale de formaldéhyde sont utilisés pour la fabrication de matières synthétiques, dont les aminoplastes et les phénoplastes, qui sont a la fois parmi les plus discrètes et les plus nuisibles.

³⁷ **Friedrich KUR** , L'habitat Ecologique (quels matériaux). Édition Terre Vivante 2005 p33

1.4.3.2 Les Aminoplastes

Entrent dans la composition des éléments en plastique dans les installations sanitaires et électriques, dans les colles résistantes à l'eau des panneaux en bois traité pour résister aux intempéries ou autres lamelles collés, dans les vernis industriels, dans les peintures thermo laquées des tôles métalliques, dans les mousses expansées, dans les isolants thermiques des canalisations.

Certains de ces produits ne sont pas stables à l'eau et dégagent du formaldéhyde s'ils sont exposés à la chaleur. Ils ne doivent pas être mis en contact avec des aliments.

1.4.3.3 Les Phénoplastes

Sont des résines qui servent à fabriquer des revêtements de toutes natures et à mouler des accessoires à usage courant, tels que des isolants électriques, des interrupteurs électriques prise de courant, ainsi que des plaques en plastique à découper. Ils entrent aussi dans la fabrication de panneaux contre plaqués ou agglomérés, de panneaux en fibres minérales, des mortiers de rebouchage de revêtements industriels. Si on les soumet au feu ces produits se carbonisent en dégageant du PHENOL.

1.4.3.4 L' Epichlorhydrine :

Dans la construction, on utilise de l'epichlorhydrine dans les résines époxy destinées à rendre plus dure les surfaces très exposées à l'usure soit en revêtement, soit en durcisseurs de mortiers ou de bitumes. epichlorhydrine peut provoquer, à des degrés divers suivant sa concentration ; des nausées ou des lésions aux poumons, aux reins et au foie. Des tests sur des animaux ont montré son effet cancérogène.

Dans les résines époxy à deux composants le durcisseur peut être une amine ou un iso- ou di-isocyanate. Il faut savoir que les panneaux agglomérés qui sont exempts de formaldéhyde sont en général collés avec des résines contenant du diisocyanate- à moins qu'il soit spécifié qu'ils ne sont liés qu'au plâtre à la chaux ou au ciment. Le risque le plus évident est une fois de plus dans la mise en œuvre si vous avez traité votre parquet avec une laque à deux composants, vous allez inévitablement respirer du di-isocyanate. Même une fois les travaux terminés et les laques stabilisées, l'air de la pièce reste fortement pollué par ces produits.

Malheureusement pour les habitants d'un tel logement et ils s'en apercevront vite même des faibles concentrations de cyanate provoquent des irritations des voies respiratoires et des allergies rappelons étrangement l'asthme ou le rhume des foies. Dans la médecine du travail ces

produits sont connus comme la cause principale de l'asthme professionnelle, dont les symptômes apparaissent déjà à des concentrations dix fois plus faibles que les seuils de tolérance admis dans les normes.

1.4.3.5 Le Styrène :

Le styrène est autre de ces substances nocives. Il se trouve à l'état naturel dans les baumes utilisés par les anciens Egyptiens pour conserver les morts. D'après sa structure moléculaire il est classé parmi les substances aromatiques. A la température ambiante, c'est une liquide à odeurs de gaz de ville, qui se polymérise lentement.

Le styrène sous sa forme de monomère est un solvant présent dans toutes les peintures, laques et colles à base de résine polyester insaturées.

Le styrène polymérisé devient du polystyrène, bien connu comme isolant sous sa forme expansée. Pour transformer le styrène en polystyrène extrudé, on utilise de l'essence dépourvu de composants aromatiques. L'essence utilisée comme adjuvant libère dans l'atmosphère de grandes quantités d'hydrocarbures. Le produit fini qui sort de l'usine libère toujours du styrène en quantité décroissante mais mesurable. Il n'est pas exclu que les plaques de polystyrène libèrent du styrène dans l'air d'une pièce même longtemps après leur pose, si l'isolant est placée sur la face intérieure du mur et qu'aucun pare vapeur n'a été prévu.

Le styrène s'attaque au système nerveux et peut avoir une action synergique avec d'autres composés tels que solvants ou alcool. Les scientifiques sont encore partagés quant à ses effets sur la santé.

1.4.3.6 LE Chlorure De Vinyle

Le chlorure de vinyle (monochloroéthane) est le monomère du chlorure de polyvinyle (PVC) matière synthétique extrêmement répandue que l'on retrouve dans :

- les canalisations d'évacuations des eaux usées et des eaux pluviales
- tuyaux de drainages, des gouttières
- les accessoires de tuyauterie
- les fenêtres
- des récipients de toutes formes et de toutes nature
- les installations électriques (coffrés, boîtes, gaines et câbles)
- les objets ménagés
- les revêtements de sols

- les jouets
- le simili cuire (skaï)
- les disques vinyles
- les membranes d'étanchéité
- ect.....

il peut par ailleurs entrer seul ou en tant que copolymère, dans la composition de colle synthétique de peintures et de laques. La teneur en monomère de chlorure de vinyle ne devrait pas dépasser 2ppm (partie par million) dans les produits finis en plastique.

Le chlorure de vinyle est un toxique puissant pour le cerveau le système nerveux et le foie, il provoque comme il a été prouvé, des cancers chez les humains. Hormis le fait que de grandes surfaces de matériaux en PVC comme par exemple des revêtements de sols puissent toujours dégager du chlorure de vinyle le PVC représente une menace considérable pour l'environnement.

En effet même si le recyclage des matériaux en PVC devrait être possible un certain nombre de fois, ce qui jusqu'à présent n'est arrivé qu'exceptionnellement, ils devront en définitive être éliminés par incinération. Du chlore et des composés chlorés se dégagent toujours à cette occasion, s'élèvent jusqu'à la **STRATOSPHERE** et participe à la destruction de la couche d'**OZONE**.

La meilleure solution est donc de renoncer complètement aux produits en PVC pour construire une maison et y habiter.

1.4. 4 Comment est-on arrivé à cette situation ?

La réponse diffère selon les risques considérés. Beaucoup considèrent que l'extraordinaire dissémination des substances chimiques au cours de l'histoire industrielle s'est déroulée sans véritable prise en compte des effets sanitaires induits au contact de la population. Sur la base des données apportées par l'épidémiologie et la toxicologie, nous assistons aujourd'hui à une véritable prise de conscience internationale. Sont en particulier concernés les produits de consommation courante et les produits de construction.

Les risques associés aux contaminations microbiologiques, illustrés par les épidémies récurrentes de légionelloses, tiennent plutôt à la manière dont sont conçus les équipements (réseaux intérieurs d'eau et d'air, production de chaud ou de froid, ventilation, etc.) et surtout à la qualité de leur entretien et de leur maintenance. La question des

moisissures est un autre thème de préoccupation croissante en lien avec la présence D'humidité dans les bâtiments.

Conclusion

Ces produits toxiques n'existent pas dans la nature. Introduits discrètement dans la construction, ils transpirent, des murs ou des meubles, et se retrouvent dans l'atmosphère confinée de l'espace habitable. Ce phénomène est accentué par le nouveaux comportements des apprentis écologistes, qui pour ne pas dilapider l'énergie, hésitent à ouvrir les fenêtres pour remplacer l'air vicié par de l'air frais. Fenêtres et portes modernes étant aujourd'hui très étanches ... On devine aisément la suite. Bien sur avec le temps la diffusion des produits toxiques s'atténue, mais elles ne cessent jamais totalement.

La crise de l'amiante a fait prendre conscience que les bâtiments pouvaient présenter sur le long terme des dangers pour la santé engageant de multiples responsabilités, y compris celle de l'État.³⁸

Alors le choix d'un matériau de construction, laisse à penser et à revoir les paramètres de choix qui sont souvent facultatifs, basés sur des données ambiguës. Un matériau que l'en a choisis pour améliorer notre espace de vie se trouve a nous la menacée. Il ne reste qu'une solution :

Ne faire entrée de toxique dans la maison donc éviter les produits chimiques et les matériaux traités chimiquement, au moins dans les aménagements intérieurs et dans l'ameublement.

D'autres maladies restent scientifiquement inexplicées, du moins avec les méthodes d'analyses actuelles. Cela ouvre la voie au spéculations les plus folles exemple ; la bataille fait rage entre ceux qui affirme que le béton tue et d'autres qui trouvent ce matériaux excellent.

I.5 Le Développement durable, une dynamique d'action

I.5.1 Les origines du développement durable

Le credo a tous crins met l'homme au service des intérêts économiques alors qu'il devrait être au centre d'un processus de développement destinés à répondre à ses besoins fondamentaux et assurer son bien être. De même il conduit à une sur exploitation des ressources naturelles qui

³⁸ L'AMIANTE DANS LES BATIMENTS "reglementation 2001" quelles nouvelles obligations sur les propriétaires. document du ministère de l'équipement et du transports et du logement_ France_

ne saurait se poursuivre sans dégradation irrémédiable de notre environnement immédiat et planétaire. Le développement économique ne peut plus se concevoir, aujourd'hui et pour l'avenir, sans prendre en compte le progrès social, la lutte contre les inégalités et la préservation de l'environnement et des ressources naturelles, c'est le sens que revêt la notion du développement durable.³⁹

La problématique du développement durable s'est construite progressivement, au cours des trois dernières décennies. Les travaux du club de Rome, à la fin des années 60, sont souvent cités comme point de départ, les universitaires de Massachusetts Institute of Technology, et les entrepreneurs qui le composent, dénoncent en 1972 dans un rapport intitulé « halte à la croissance » le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle du point de vue de l'épuisement des ressources, de la pollution et de la surexploitation des systèmes naturels le message est donc limiter l'accroissement de la population et tendre vers une croissance zéro, déclenche de nombreuses réactions critiques qui contribuent à lancer le débat sur les liens entre développement économique et protection de l'environnement. Les deux sont présentés, à l'époque comme antinomiques.

Le développement durable se veut un processus de développement qui concilie l'écologie, l'économie et le social et établit un cercle vertueux entre ces trois pôles. C'est un développement respectueux des ressources naturelles et des écosystèmes, support de la vie sur terre, qui garantit l'efficacité économique mais sans perdre de vue les finalités sociales que sont la lutte contre la pauvreté, contre les inégalités contre l'exclusion et la recherche de l'équité.

Une stratégie de développement durable doit être une stratégie gagnante de ce triple point de vue, prise en compte ; on parle alors de politique de stratégies à double dividende.⁴⁰

En fin Le développement durable est la conciliation des trois champs de l'économie, du social et l'environnement. Y entre aussi le champ de la politique avec le principe de la gouvernance. Il doit aussi se traduire, comme le souligne la Commission Française du Développement Durable, par des actions ou des solutions immédiates et locales décidées par

³⁹ Dossier documentaire, Ville et développement durable, centre de documentation de l'urbanisme oct 1998

⁴⁰ Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, **La ville et le développement durable**, *Cahier du CSTB de janvier – février 1999*

rapport à des problèmes de long terme et globaux, selon des critères de choix transparents et simples mais Relatifs à une réalité complexe.⁴¹

1.5.2 Architecture et Développement Durable

Comment est-ce qu'une communauté pourrait prospérer dans son environnement normal sans s'assurer que ses composants auraient également leur propre chance de survivre? Consciemment ou inconsciemment, la plupart des communautés se rendaient parfaitement compte qu'elles ne pourraient pas rester longtemps dans un endroit si elles ne s'assureraient pas que leur environnement pourrait régénérer. Les conflits, les influences étrangères, le commerce, l'esclavage, la colonisation et la globalisation ont provoqué des idéologies nouvelles, la nouvelle esthétique, de nouveaux matériaux et des techniques, nouveaux organismes sociaux.les croissances des populations ou la concentration dans des secteurs spécifiques ont nécessité la haute pression sur la terre et les changements de l'attitude énergiques, ayant pour résultat des problèmes écologiques graves.

L'approche moderniste a eu toujours la tendance de nous inciter à croire que l'humain peut se libérer de son environnement normal et le système d'enseignement conventionnel a souvent aveuglément favorisé les modèles étrangers d'une manière très nuisible à la locale il a également extrait à partir des communautés leurs meilleurs individus, ceux qui auraient probablement été ceux qui pourraient avoir inventé de nouvelles solutions, adapté à la nouvelle situation. En ces conditions, des modèles traditionnels ont été souvent dépréciés et le savoir-faire attaché à lui a en partie perdu. Les nouvelles initiatives, si autrefois ingénieuses, demeurent souvent mal adaptées, des points sociaux, techniques, culturels ou environnementaux de vue. Cette évolution est singulièrement claire en regardant l'évolution des règlements humains et des modèles architecturaux.⁴²

Pour ne pas perdre, à jamais, le capital de la planète en matières renouvelables, il est du devoir des professionnels du secteur du bâtiment de consentir un effort en faveur du développement durable, L'utilisation de la ressource, en matières renouvelables, pourrait générer une véritable économie qui fonctionnerait comme un écosystème :

⁴¹ Catherine, CHARLOT-VALDIEU et Philippe Outre Quin, LA VILLE ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE, cahier de CSTB janvier 1999

²³ EARTH ARCHITECTURE IN UGANDA « PROJECT, in Bushenny 2002-2004 publication de CRATERRE.

- La matière serait transformée en matériaux par une transformation la plus simple possible.

- les déchets biodégradables, une fois compostés, pourraient servir d'engrais aux futures cultures.

L'augmentation du prix du pétrole à elle seule encourage le financement de recherches permettant de développer des solutions de substitution. Tout étant une histoire de rentabilité, le marché s'oriente naturellement sur les solutions les plus économiques.

L'emploi des ressources, en matières recyclées pourrait, quant à elle, nous permettre de trouver des solutions alternatives aux problèmes liés à l'extraction et à la mise en décharge. La matière recyclée peut être aussi bien d'origine végétale que d'origine minérale. La source peut provenir de n'importe quel secteur tant qu'elle ne présente pas de danger pour notre santé et que la quantité est suffisante. Ce principe permet une exploitation optimale de la matière, comme les herbivores qui digèrent leurs aliments en plusieurs temps pour en retirer un maximum d'énergie.

Les acteurs du bâtiment sont toutes les personnes physiques ou morales qui jouent un rôle dans le projet, qu'il s'agisse de la maîtrise d'oeuvre ou de la maîtrise d'ouvrage, service, main d'oeuvre, matériau, etc...Chaque acteur a son propre territoire, qui correspond aux limites de ses interventions, en lien avec les autres acteurs et ceux de son propre secteur.

*** Le rôle de l'Architecte** : l'architecte est censé offrir un rapport goût/qualité/prix convenable, il est donc important de rechercher de bons composants et de les préparer en respectant les temporalités qu'imposent les différentes préparations, sans oublier la présentation et le service dans les temps.

L'architecte à travers son réseau d'acteurs doit savoir utiliser les opportunités que lui offrent les territoires où il doit intervenir. Il doit accommoder tous les maillons qui composent la chaîne qui constitue le projet dans son intégralité. Pour obtenir une construction durable, il doit savoir composer avec des matériaux renouvelables ou réversibles. C'est essentiellement sur les parties les plus consommatrices en quantité de matière et donc d'énergie induite qu'il faut agir.

I.5.3 Le Cycle de vie des matériaux

Le secteur du bâtiment consomme de l'énergie, de l'eau, des ressources et des terrains à différents stades :

- à la fabrication des matériaux.
- pendant le fonctionnement des bâtiments.

- au moment de la destruction.

L'analyse de cycle de vie consiste à faire l'inventaire des quantités d'énergie dépensées pour extraire la matière première, la transporter en usine, fabriquer le matériau de construction, l'apporter sur le chantier, le mettre en oeuvre, et, trente ou cinquante ans plus tard, pour déconstruire le bâtiment, recycler ou mettre en décharge le matériau considéré.⁴³

Le résultat chiffré de l'analyse de cycle de vie d'un matériau s'appelle l'énergie induite; qu'indicative elle ne prend pas en considération la pollution des sols, de l'eau et l'incidence des matériaux sur notre santé.

L'ACV⁴⁴ d'un bâtiment, est donc une opération complexe qui exige la connaissance des cycles de vie de chacun de ses constituants. Malheureusement, ces données ne sont pas toujours disponibles. Peut-être verrons nous apparaître bientôt la consommation d'eau et d'énergie sur les emballages des matériaux de construction. La technologie actuelle nous permettrait même de cumuler l'énergie induite et le nombre de kilomètres parcourus par les matériaux dans un code barre ou une puce sur l'emballage, afin d'additionner les différentes consommations à l'arrivée des matériaux sur le chantier.

Bien que l'ACV soit un indicateur intéressant d'un point de vue théorique, il n'est pas aujourd'hui suffisamment complet dans sa version chiffrée. Par contre, il est primordial de connaître le principe de fabrication des matériaux les plus courants, et certaines grilles donnent un ordre de grandeur de l'énergie induite des principaux matériaux de construction.

1.5.3.1 Quelques exemples de consommation estimative en KWH par tonne

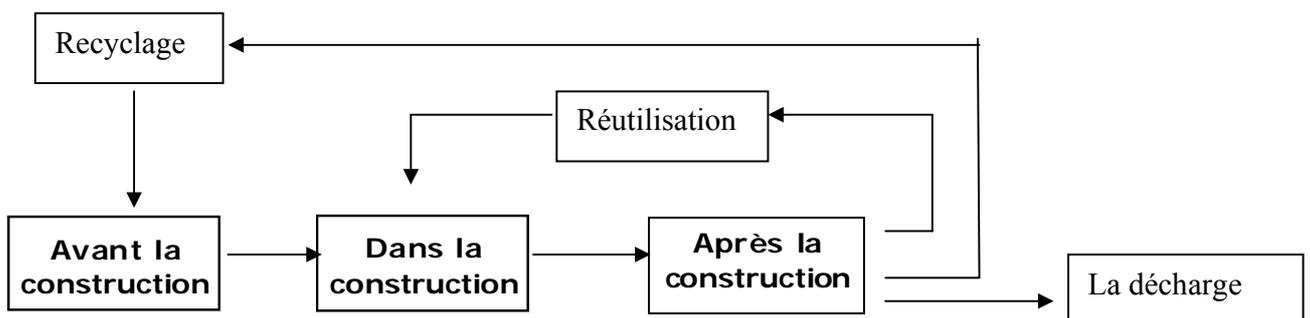


Schéma : principe du cycle des matériaux de constructions

⁴³ Pierre lefevre, Architecture Durable, edisud France 2002 p 13

⁴⁴ ACV : analyse du cycle de vie, un outil d'évaluation de l'énergie induite.

Tableau 2 tableau comparatif des énergies induites des différents matériaux de construction

aluminium de 1er fusion	34000 kwh/t
polystyrène expansé	23000 kwh/t
Plastique (moyenne)	21000 kwh/t
polyuréthane	18000 kwh/t
laine de verre	14000 kwh/t
féailles pour béton	9000 kwh/t
ciment	1700 kwh/t
brique cuite et tuiles	900 kwh/t
Bois	700 kwh/t
béton	400 kwh/t
bloc de terre stabilisée	200 kwh/t

Source (architecture écologique par Dominique Gauzin Muller)

1.5.4 Le Bâtiment à Haute qualité environnementale (H.Q.E.)

Après l'étude de l'impact du bâtiment sur l'environnement, il semble évident que la démarche doit commencer dès la phase de projection du bâtiment, quelque soit son échelle. Le concept de bâtiment Haute Qualité Environnementale peut être une première occasion pour un développement plus respectueux de l'homme et de l'environnement, avec pour résultat possible un triple dividende. Il semble intéressant, dans un souci de développement durable, de se préoccuper de certains points en particulier :

- l'investissement de l'architecte dans la recherche d'opportunités territoriales de matériaux.
- l'utilisation de ressources réversibles ou renouvelables de matériau en priorité, puis l'utilisation de matière recyclée.

Les bâtiments H.Q.E. peuvent être un point d'entrée particulièrement judicieux vis-à-vis des communes. Mais, dans ce cas, il ne s'agit pas seulement de mener une approche technique du bâtiment qui intègre l'environnement, il faut aussi s'intéresser au cadre global dans lequel va s'inscrire la construction (neuve ou en réhabilitation) : intégration des préoccupations environnementales (et pas seulement concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie) dès la

conception des bâtiments ou lors de leur réhabilitation, aménagement urbain et paysager, disponibilité de transports en commun, desserte piétonne, multifonctionnalité de la zone, accès optimal au réseau de l'énergie.... :

La qualité environnementale d'un bâtiment se mesure par son aptitude à préserver les ressources naturelles et à satisfaire aux exigences de confort, de santé et de qualité de vie des occupants.⁴⁵

Par conséquent, elle consiste à :

- économiser les ressources naturelles : énergie, eau, sol, matières premières;
- abaisser la pollution de l'air extérieur, de l'eau et des sols,
- réduire la production de déchets, notamment les déchets ultimes,
- diminuer les nuisances sonores,
- favoriser l'intégration du bâtiment dans son environnement immédiat (insertion dans le site, qualité des vues, récupération des apports solaires, création d'espaces verts de proximité, confort dans les espaces extérieurs, facilité d'accès..)
- assurer des conditions de vie saines et confortables à l'intérieur des bâtiments (confort Hygrothermique, visuel, qualité de l'air).

Les exigences de la qualité environnementale (QE) d'un bâtiment peuvent être organisées autour de 14 cibles :⁴⁶

1. Relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat.
2. Choix intégré des procédés et produits de construction
3. Chantier Vert
4. Gestion de l'énergie :
5. Gestion de l'eau
6. Gestion des déchets d'activités :
7. Maintenance et entretien
8. Confort hygrothermique
9. Confort acoustique
10. Confort visuel
11. Confort olfactif
12. Conditions sanitaires

⁴⁵ Catherine, charlot-valdieu et Philippe Outre Quin, la ville et le développement durable, cahier de CSTB janvier 1999

⁴⁶ IBID P27

13. Qualité de l'air

14. Qualité de l'eau

I.5.5 -Le Rôle de L'architecture

Il est bien possible que ce ne soit pas dans une mouvance naturaliste radicale ou dans une mouvance technocrate (HQE ou haute qualité environnementale normative) chacune trop orthodoxe et peu capable d'une véritable remise en question sociale et culturelle. Mais plutôt dans le cadre d'une nouvelle approche « du vivre autrement » associant une considération égale pour l'homme, la nature et l'environnement, qu'une modernité eco-durable des architectures de terre puisse être en mesure de voir le jour⁴⁷. Elle pourrait fortement s'appuyer sur la conservation et la reconnaissance de la valeur des patrimoines architecturaux. Dans beaucoup de pays en développement les conditions d'une idiosyncrasie culturelle et d'une alliance globale pouvant générer d'autres alternatives au transfère homogénéisant (mondialisation) des modèles occidentaux ne sont pas clairement définies. La vision du progrès qu'offre le nord au sud a d'ores et déjà des conséquences dramatiques (ex : mégapole ingérable) que bénéfiques pour la population et sur des environnements surexploités, gravement exposés à des risques majeurs, repoussant l'échéance de l'accès aux conditions d'un possible développement durable.

Pour garantir ce « développement durable » nouveau paradigme du 3ème millénaire fondé sur une alliance globale en faveur de la protection de la bio diversité ;

-N'avons nous pas l'obligation de protéger et transmettre la mémoire de cultures, véhicule de valeurs et de sens « intangible » ; sans laquelle une société ne peut exister ?

-N'y a-t-il pas une alternative pour conserver notre héritage architectural, expression d'une communauté de valeurs universelles ?

L'architecture de terre, présente sur toutes les conditions, ne pourrait t-elle pas être essentielle à la protection et à la transmission de ces « bio et techno- diversités » culturelles des paysages aménagés par l'homme ?

Ne pourrait t-elle pas offrir une alternative culturelle, constructive et architecturale homogénéisante qui pourrait être bien ravageuse ?⁴⁸

⁴⁷ Jean pierre oliva, l'isolation ecologique, Ed terre vivante 2004 P12

⁴⁸ Hubert Guillaud , CAES , Magasine du CNRS N° 63 -2002



Figure 5 quelque constructions en terre crue au Yemen (Source craterre)

I.5.6 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 :

1.5.6.1- matériaux non-renouvelables : 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.

1.5.6.2- 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.

1.5.6.3 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 termes de gain de place dans les déchetteries.

I.5.7 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 aux matériaux, 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.

Trois paramètres, pour comparer et rendre compte si les matériaux sont économique et durables ou pas⁴⁹ :

- transport
- dépense d'énergie
- technologie

L'analyse de différents matériaux par rapport au transport, à la dépense d'énergie et à la technologie, on peut les classer et les évaluer. Il apparaît que la fabrication du ciment exige une technologie avancée. Ce qui ne veut pas dire qu'il ne faut pas fabriquer de ciment : au contraire, le ciment sera toujours nécessaire. L'objectif, donc, est uniquement de donner un modèle de référence en tenant compte de l'utilisation des ressources.

Si on veut s'orienter, dans l'avenir, vers un développement prometteur, il faut donner la priorité à la mise au point d'un matériau de construction nécessitant :

- un transport minimum
- une dépense d'énergie raisonnable
- une technologie de conception appropriée.

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.⁵⁰

Avant qu'il soit dans le bâtiment :

- mesures de prévention de la pollution à la fabrication,
- mesures de réduction des déchets à la fabrication,

⁴⁹ J. Astrand, L. Bessadi, E. Johansson, S. Laid, H. Matériau thermiquement isolants, : béton mousse panneaux en laine de bois. CNERIB Algerie & LCHS Suede, rapport 2de seminaire 1994

⁵⁰ P Dominique gauzin muller, Architecture écologique, édition le moniteur nov 2001P 108

- 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-toxicité ou moins toxique.

Après le bâtiment :

- réutilisation,
- recyclabilité,
- biodégradabilité

1.5.8 Comment Les Ressources Peuvent-elles Etre Employées?**1.5.8.1 Pour Le Développement**

Travailler pour développer le logement digne et accessible derrière le plus grand nombre de personnes nécessite de proposer des solutions à une des situations les plus sérieuses de notre ère. Cependant, les matériaux et les technologies courants demeurent hors de portée à la majeure partie de la population du monde.

1.5.8.2 Employer Les Ressources Locales

L'architecture de la terre peut être trouvée sur chaque continent habité par l'homme. Sortir cet héritage, l'amélioration des méthodes traditionnelles et la reconstitution du bâtiment local pratique et le savoir-faire à leurs endroits légitimes nécessite de valider la praticabilité d'un établissement capable d'intégrer les conditions d'une économie durable.

1.5.8.3 Développer La Science Des Matériaux Locaux

Les conditions modernes pour commander des processus employés pour produire des matériaux de construction ne peuvent pas se fonder sur le savoir-faire empirique comme référence. L'identification professionnelle et publique de l'architecture de la terre a exigé de développer une science spécifique des techniques et des matériaux de construction.

1.5.8.4 Secteurs Locaux De Production De Dynamisme

Ces secteurs doivent mettre le potentiel assuré par l'environnement technique et culturel normal et humain à la bonne utilisation. Dynamiser ces secteurs de production doit assurer

l'exécution des normes, de la législation et lancer un défi pour favoriser leur développement et la création des solides totaux sociaux et économiques locaux de bénéfiques.

1.5.8.5 Produire Des Travaux

Action pour des moyens de développement installant des conditions durables et assurant le développement concret des répercussions socio-économiques positives aux populations concernées. Le secteur de l'architecture de terre, du métier aux niveaux industriels, a montré sa capacité dynamique au niveau du secteur primaire des économies locales, attirant de ce fait l'investissement dans d'autres secteurs économiques.

Conclusion :

L'évolution et le progrès qu'a connu l'homme à travers les temps lui ont données confiance et l'ont rendu trop dépendant. Seulement cet avantage qu'a pris l'homme s'est avéré destructeur et menace son existence et celle de tout les êtres vivant sur le globe terrestre. L'homme croyait à son omnipotence et a puisé sans mesure dans les ressources de la planète. Cela a engendré plusieurs risques globaux tel que :

- effet de serre, la pollution des eaux et de l'air

Le bâtiment étant un grand consommateur de matières industrielles, des matières chimiques utilisées durant des décennies et à grande échelle et en fin les recherches actuelles ont démontrées leurs rôles néfastes sur la santé publique. La crise de l'amiante a fait prendre conscience que les bâtiments pouvaient présenter sur le long terme des dangers pour la santé engageant de multiples responsabilités. Le choix des matériaux est donc primordial pour la santé, les matériaux naturels sont à préconiser.

La recherche de la qualité environnementale est une attitude visant à établir un équilibre harmonieux entre l'homme et la nature qui l'entoure, le concept du développement durable se montre comme une alternative permettant développement socio économique sans compromettre l'avenir des générations à venir.

L'architecture étant un domaine d'activité où l'homme se développe et s'épanouit, est appelée à être respectueuse de la nature. Le patrimoine architectural en est un de ses plus grandes ressources socioculturelles.

Le choix de matériaux dits, naturels s'avèrent les moins consommateur d'énergie et les plus respectueux de l'environnement.

- Introduction :

La modernisation, à laquelle aucune société n'échappe, ne doit pas occulter l'intérêt que représente le patrimoine comme vecteur de développement et de stabilité, tant pour nous que pour les générations futures. De nos jours encore, un certain nombre de solutions traditionnelles restent inégalées par leur efficacité. Quelques-unes, particulièrement judicieuses, méritent d'ailleurs d'être considérées lors de la recherche de réponses à certains de nos problèmes mondiaux contemporains. Pour que ne disparaissent pas ces héritages du passé, les Etats et collectivités locales sont donc amenés à préserver et à mettre en valeur les patrimoines qui fondent leurs identités.

L'objectif de ce chapitre est de mettre la lumière sur le patrimoine architectural par une analyse sereine, qui nous permettra de, prouver que les traditions populaires et historiques sont aussi valables pour notre époque moderne et restent vivantes est synonyme de développement⁵¹.

L'étude du patrimoine architecturale en terre permet de créer une sorte de continuité positive, et ce grâce à une volonté mettant en valeur l'importance des œuvres anciennes construite en terre , cette matière aussi ancienne qu'elle soit reste toujours une source d'inspiration pour beaucoup d'architectes. Modernité et patrimoine, un sujet important et une dualité autour de la quel certains visent à approfondir l'écart entre les deux sens⁵². Hassan fathy est un model qui a consacré tout son temps pour relancer et revaloriser les traditions populaires anciennes, et créer un cordon entre le passé et le présent, qui risquent de s'auto détruire.

Le rattachement au patrimoine identifie et personnalise nos travaux et les places dans un contexte civilisationnel, qui met fin à l'importation des modèles architecturaux et urbanistiques, exogènes.⁵³

II.2- Définition Du Patrimoine :

Le patrimoine est ce que nous avons reçu de ceux qui nous ont précédé, il est la référence principale de notre identité socioculturelle. « Comme nous héritons des gènes de nos parents, nous sommes aussi faits de nos gènes de cultures et de notre environnement naturel »⁵⁴

Les patrimoines sont divisés en deux catégories principales. D'une part, il y a les patrimoines qui se présentent sous une forme matérielle, ce sont les patrimoines archéologiques, artistiques, mobiliers, architecturaux et paysagers. D'autre part, il existe une autre forme de patrimoine, qui suscite l'intérêt de la communauté internationale et notamment des peuples: il

⁵¹ د: محي الدين سلقيني ، العمارة البيئية ، دار قابس ، 1994

⁵² Ibid P10

⁵³ د: قبيلة فارس المالكي ، العمارة المعاصرة في العالم الاسلامي ، هويتها و أثر التكنولوجيا فيها ، جامعة بغداد ، ، العمارة العربية الاسلامية، اشكالية الهوية، المؤتمر المعماري الاول لنقابة المهندسين المعماريين الاردنيين 7-10 سبتمبر 1998 عمان ص 89

⁵⁴ JEAN pierre ELONG Mbassi, Patrimoine culturel et développement local, edition Craterre-ENSAG, SEPT 2006

s'agit de ce que l'on a appelé le patrimoine culturel immatériel. Cette désignation a été conçue pour que puissent être prises en considération des réalités, auxquelles il n'avait pas été jusqu'alors prêté suffisamment d'attention et qui n'appartiennent pas aux catégories établies du patrimoine.

La créativité humaine ne s'exerce pas seulement dans l'édification de bâtiments prestigieux ou la fabrication d'objets d'art précieux, elle se manifeste aussi dans la capacité d'inventer des formes culturelles originales, pas nécessairement matérialisées. Ainsi des expressions culturelles telles que les rituels d'initiation, les célébrations des cycles de la vie, etc. témoignent de modes de connaissance originaux (forces de la nature, rapports sociaux, etc.), et de savoirs et savoir-faire particuliers⁵⁵. Fig 6



Figure 6 Patrimoine matériel et immatériel (source auteur)

On désigne donc par immatériel un capital culturel, qui est multiforme et qu'il faut préserver d'autant plus qu'il est encore plus vulnérable que le patrimoine matériel, parce qu'il disparaît avec les hommes qui en sont les détenteurs.⁵⁶

⁵⁵ ibid P9

⁵⁶ Ibid



Figure 7 Ghardaia une villes anciennes, du Sud Algerien (Source : auteur)

Patrimoines matériel et immatériel sont toutefois intimement liés. L'immatériel, qu'il s'agisse de connaissances, de principes d'action ou de valeurs que l'homme porte en lui, ne devient du patrimoine que s'il peut les partager avec les autres hommes et dans la mesure où il peut leur donner une forme sensible - des mots, des objets, des gestes, des représentations ou encore des comportements. De même, le patrimoine matériel ne trouve sa pleine signification qu'en se référant aux savoirs et aux valeurs qui sont à la base de sa production. Des activités qui, semblent très prosaïques et n'avoir pour but qu'une fabrication, ont la plupart du temps une double dimension. L'une est visible et l'autre ne l'est pas, cette dernière pouvant être tout aussi importante aux yeux de ses détenteurs.



Figure 8 Un patrimoine en architecture de terre, en Asie centrale. (source : craterre)

Mieux connaître le patrimoine, si riche et varié, est essentiel aujourd'hui. Le préserver sera possible grâce à des efforts de collaboration entre les états, chargés de la législation, et les communautés et les citoyens, mieux à même d'identifier leur propre

patrimoine; un patrimoine qui gardera toute sa logique et sa pertinence avec le territoire où il a été créé et où il se transmet. Voir Fig 8

II.3- L'architecture et le patrimoine

Les références urbaines des sociétés à travers les temps sont le moyen matériel expressif de l'identité et le niveau de développement des nations et des populations. par exemple : la simplicité, la modeste et la clarté sont des sens islamiques, qui se sont répercutées sur l'architecture. ainsi la philosophie, le savoir et les cultes grec, sont très bien exprimés sur les équipements publics et les temples. Il ne faut donc pas se méfier des interactions entre sociétés et peuples, à condition qu'elles soient capable d'analyser objectivement les données qui lui sont expédiés⁵⁷

La plupart des écrits récents attribuent aux villes des pays sous développés une double dimension, africo-européenne, avec l'empreinte coloniale des 19 et 20ème siècles. Ce mélange est, comme ailleurs, une des caractéristiques principales des villes du continent africain. A celles-ci s'ajoutent les villes mondialisées de notre siècle. Toutes restent néanmoins porteuses d'identités spécifiques :

- Une identité liée aux formes urbaines, au patrimoine bâti, au mobilier urbain, à l'aménagement, à la disposition des rues et des places,...

- Une identité liée au vécu de la ville, à son « patrimoine immatériel » : parcours urbains ; lieux forts ou lieux sacrés auxquels les gens attachent une signification rituelle / religieuse / sociale... ; témoignages de l'histoire et d'éléments dans lesquels les habitants se reconnaissent et qui constituent leur identité.⁵⁸

Seulement, depuis deux long siècles, l'occident capitaliste et industriel a imposé sur l'ensemble du monde, par sa suprématie technique, et surtout militaire, sa vision, sa culture ses valeurs et son échelle des priorités, sous prétexte de modernité et démocratie, par conséquent il a ciblé les sociétés dans leurs cultures, leur mode de vie et les à considéré parfois comme une entité de son propre territoire.⁵⁹

De ce fait, même si le phénomène urbain s'est accéléré au cours des derniers siècles et a été influencé par des modèles venus d'autres continents, nombre de villes gardent

⁵⁷ د: قبيلة فارس المالكي، العمارة المعاصرة في العالم الاسلامي، هويتها و أثر التكنولوجيا فيها، جامعة بغداد،، العمارة العربية الاسلامية، اشكالية الهوية، المؤتمر المعماري الاول لنقابة المهندسين المعماريين الاردنيين 7-10 سبتمبر 1998 عمان ص 89

⁵⁸ JEAN pierre ELONG Mbassi, patrimoine culturel et developpement local une edition craterre-ENSAG / Convention France-Unesco

⁵⁹ د: رهيف فياد : حمى البناء و رفض العمارة و الهوية، جامعة بغداد،، العمارة العربية الاسلامية، اشكالية الهوية، المؤتمر المعماري الاول لنقابة المهندسين المعماريين الاردنيين 7-10 سبتمبر 1998 عمان

des traces plus ou moins visibles de ces premières installations, de leur patrimoine matériel et, de façon plus ou moins importante, de leur dimension immatérielle. L'architecture et l'urbanisme figureront parmi les enjeux des débats et des affrontements des traditionalistes et des modernistes autour de problèmes d'économie, d'éducation, des choix de société. Nous nous devons d'aborder les problèmes d'architecture, de conception d'aménagement, et nous ne pouvons aborder ces problèmes en faisant l'impasse d'un préalable, celui de l'examen de la relation duelle qui s'établit à l'intérieur du couple tradition modernité / histoire. Si nous voulons être authentique en conservant, en gelant le passé, comment pouvons-nous être, moderne sans déchirure ? ⁶⁰

Certaines villes ont un statut de villes historiques internationalement reconnu. En effet, elles ont toujours une structure fortement marquée par leur forme originale, avec des aménagements, des lieux, un bâti et des cheminements, tous porteurs de significations et liés à des pratiques rituelles, encore très vivantes, par ailleurs.

Si nous devons faire la différence entre un monument et un ensemble de constructions, plus que tout le reste, nous constaterons que le monument marqué par les éléments caractéristiques qu'il recèle, des rattachements à toute une œuvre de civilisation à la quelle il s'adosse et s'assimile, et qu'il finit par récupérer à travers ses aspects les plus visibles (arcs, faïences, coupole...) s'impose par la force immatérielle qui véhicule.

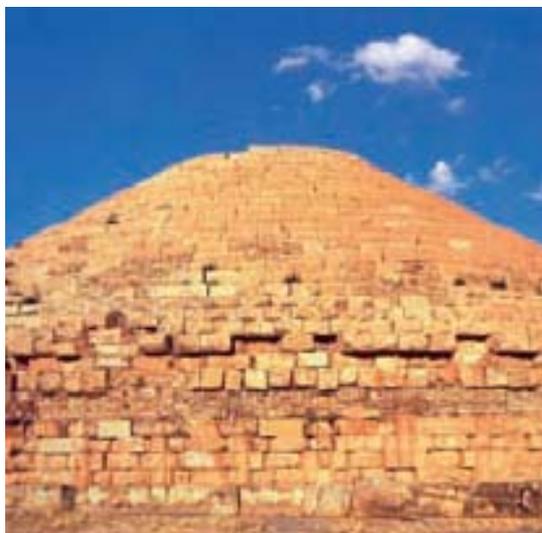


Figure 9, Tombeau d'Emadghassene, (Batna, Algerie) source auteur

II.4- Les architectures entre patrimoine et continuité

L'Afrique et notamment L'Algérie sont riches d'une grande variété de créations architecturales. Les bâtisseurs ont développés des pratiques leur permettant de répondre aux besoins divers en tirant parti des matériaux disponibles dans leur environnement avec beaucoup

⁶⁰ Karim Mechta (De l'authenticité à l'innovation) « patrimoine, tradition et modernité » édition publisud 1991 P43

de créativité, y compris en compensant certaines faiblesses intrinsèques par des pratiques sociales d'entretien régulier.

L'architecture, qu'elle soit religieuse, liée aux lieux de pouvoir ou plus simplement à l'habitat, est souvent mêlée avec des réalisations artistiques (profanes ou religieuses) d'une grande richesse, mais aussi des pratiques d'entretien régulier à vocation à la fois technique, sociale et rituelle, dont certaines ont été adoptées pour les constructions liées aux religions musulmanes et chrétiennes.

Certaines architectures ont un caractère très fort, issu à la fois de l'intelligence de la conception d'ensemble, qui fait appel à des astuces constructives permettant une utilisation optimale des matériaux en fonction des moyens disponibles, et prévoyant dès la construction les besoins d'entretien, en vue de les minimiser. Outre une grande variété de types d'habitats (tailles, formes, structures, implantation...) qui s'adaptent souvent de façon judicieuse au contexte, ces bâtisseurs ont développés des architectures monumentales qui leur ont permis de répondre à des programmes parfois très ambitieux de palais impressionnants, abritant des lieux de pouvoir, mais aussi de structures monumentales destinées aux cultes et aux pratiques rituelles, ou encore à vocation militaire, pour la protection contre d'éventuelles attaques d'ennemis ou à des fins de dissuasion. Suite à l'arrivée d'explorateurs et de commerçants étrangers, notamment en liaison avec le commerce des esclaves, nombre de forts et structures de comptoirs associés furent bâtis et témoignent de cette période perturbée. Plus tard, la période coloniale a généré des besoins nouveaux en construction. Illustrant une époque plus récente, de nombreux éléments architecturaux, grands ouvrages (ponts, routes, ...) et les prémices d'un patrimoine industriel marquent les époques coloniales. L'architecture postérieure aux indépendances a su à son tour générer des formes intéressantes, qu'il convient également de préserver.

II.5- Pourquoi s'intéresser au patrimoine ?

Comment ne pas porter d'intérêts au patrimoine auquel en s'identifie, il serait injuste de ne pas chercher et développer tout ce trésor plein de merveilles qui peut toujours contribuer à notre bien être. Dans une perspective de développement durable, la préservation et la sauvegarde du patrimoine peuvent lutter contre la pauvreté, et apporter un développement local faisant participer toutes les tranches sociales et économiques de la société. Le patrimoine est chargé de beaucoup de valeurs morales et matérielles.

II.5-1- Une valeur culturelle et sociale

Un peuple a toujours besoin de se référer à son histoire pour assurer la continuité d'une identité qui évolue avec le temps. Le patrimoine est un bien collectif qui raconte l'histoire d'un peuple, d'une ville, d'un territoire, et se transmet de génération en génération. Le

patrimoine permet aux générations actuelles de se situer dans le temps et de se repérer face aux mutations de notre société ; il est un élément de stabilité dans un monde en évolution rapide.

Le patrimoine est aussi un élément essentiel pour permettre à un peuple de montrer sa différence par rapport aux autres sociétés, de manifester sa façon propre de penser le monde et sa capacité de création culturelle. La culture de chaque peuple est une création originale qui se manifeste dans tous les registres de la vie – les actes de la vie quotidienne comme les événements périodiques où il se rassemble, les objets ordinaires comme les productions les plus sophistiquées.

L'action en faveur du patrimoine permet de perpétuer les éléments de cette culture nécessaires à l'existence de la société. Il permet parfois, sans que l'on s'en rende compte, de trouver des solutions à nombreuses difficultés qu'une communauté et ses membres sont amenés à rencontrer.

Préserver le patrimoine, c'est choisir la réappropriation par un peuple de sa mémoire, une réappropriation qui peut être au coeur d'un projet collectif porteur de cohésion sociale. Le faire connaître, c'est aussi contribuer à une meilleure connaissance mutuelle entre les communautés présentes sur un territoire, chacune porteuse de sa propre culture, qui grâce à cela peuvent mieux vivre ensemble. C'est enfin favoriser le maintien de l'équilibre social qui implique la reconnaissance, le respect des différences et de l'identité culturelle de chaque peuple et de ses composantes – un enjeu déterminant pour une politique de développement durable.

II.5-2- Un potentiel économique

Les éléments du patrimoine, ce sont d'abord des solutions traditionnelles pour vivre dans un milieu ; ils demeurent souvent une ressource irremplaçable pour permettre aux populations de vivre. La perte ou l'abandon du patrimoine est un risque qui ne peut être sous-estimé tant nombre d'alternatives aux modes de vie traditionnels qui se présentent aujourd'hui sont finalement peu adaptées.

Dans une perspective de développement, il apparaît clairement que les projets, même techniquement bien étudiés, mais qui n'intègrent pas assez les aspects culturels, savoirs et savoir-faire locaux, ont peu de chance de réussir. Au-delà de ce constat, on voit aujourd'hui que le patrimoine peut être concrètement un instrument du développement économique et territorial. Grâce à sa mise en valeur touristique d'abord, et aussi comme vecteur de promotion du territoire.

L'un des grands facteurs de succès des projets de développement durable est la prise en compte de l'ensemble des données du contexte naturel et physique, culturel et technique, social et économique, politique. Aucun modèle constructif et architectural ne peut être transféré aussi

simplement et doit être conçu en intégrant à la fois, les forces, les faiblesses, les contraintes, les potentialités et les opportunités qui identifient et caractérisent chaque contexte d'intervention.

Cette approche est dès lors une méthode qui impose la reconnaissance et le respect des contextes, leur étude préalable approfondie, en liaison avec les acteurs locaux, afin de pouvoir garantir cette réponse de projet à une grande diversité de contextes à l'échelle du monde.

L'architecture de terre offre des qualités indéniables que les cultures historiques du monde entier, en quelque diversité de contexte que ce soit, ont su admirablement valoriser. Qualités esthétiques, qualités structurelle et spatiales, qualités thermiques, dont des savoir-faire très élaborés au fil du temps ont sans cesse joué.

Dans la résolution des besoins, d'habitat et d'équipements, les sociétés actuelles posent des exigences de solidité, de confort, de réduction d'entretien auxquelles les matériaux locaux de construction contemporains, répondent pleinement pour peu qu'ils soient utilisés à propos. Beaucoup de projets d'architecture verte, ex : réalisations en terre, au cours de ces dernières décennies, en pays industrialisés (Europe, Etats-Unis, Australie) comme dans les régions en développement, qu'ils soient publics (écoles, dispensaires, équipement sociaux) ou privés (habitat), donnent la preuve de ce renouvellement d'une qualité architecturale répondant aux attentes de populations et aux exigences d'une architecture contemporaine définis par des cadres législatifs et normatifs.

II.6- Patrimoine Architecturale Et Enjeux Socio-Economiques Et Culturels

Les territoires, urbains ou ruraux, constituent un des noyaux de l'identité culturelle à travers les échanges sociaux, spirituels, culturels et économiques qui s'y sont déroulés au fil du temps, et qui ont donné naissance à des créations uniques au monde qui s'expriment à travers leurs patrimoines immatériels et matériels. La valorisation de ces richesses culturelles et patrimoniales, à l'intérieur des territoires locaux qui représentent de nouveaux espaces de cohérence, renforcerait la dimension culturelle de celles-ci, et apportera sans aucun doute, une amélioration aux conditions de vie des populations.

Pourtant, ces ressources culturelles et patrimoniales sont aujourd'hui confrontées à des défis majeurs liés aux besoins du développement humain. En effet, on leur accorde peu d'intérêt et la valorisation de leur apport dans la lutte contre la pauvreté qui demeure le souci premier des pays africains ne reçoit pas la priorité requise.

Monuments historiques, vestiges archéologiques, ensembles bâtis urbains ou ruraux, lieux de mémoire, paysages culturels, sites naturels, réserves de flore ou de faune, le patrimoine fait aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant en raison des enjeux de plus en plus complexes qui

y sont associés . Il participe à l'affirmation de l'identité d'un territoire et constitue un repère face aux mutations socioéconomiques accélérées que nous vivons actuellement. Il est aussi un vecteur de développement et de richesse. Dans toute sa variété et sa multiplicité, ce patrimoine est avant tout fragile et exige une attention et une préservation à la mesure de sa diversité.

Nos territoires urbains et ruraux se sont, au cours du temps passé, développés lentement en relation étroite avec les milieux naturels, les modes de vies, les pratiques culturelles. Des équilibres subtils se sont créés au long des siècles. Ces équilibres sont aujourd'hui menacés, certains détruits.

Certes, une prise de conscience est née en partie grâce aux mouvements écologistes, à l'action des organisations internationales, des grandes conférences telles que celles de Rio, de Johannesburg. Une opinion de plus en plus sensible se manifeste mais, face à ces signes positifs, une tendance lourde conduit toujours à des comportements et des aménagements dangereux et contradictoires avec les objectifs de développement durable⁶¹. Le court terme privilégie la rentabilité immédiate, le temps de l'analyse et de la conception raisonnée n'est pas celui des investisseurs pressés d'appliquer des modèles de développement standard. Les politiques sont eux aussi soumis aux influences et pressions de multiples acteurs. Il leur faut de la force pour résister, et pour cela il leur faut l'appui des institutions internationales, l'appui du droit de L'environnement, de la diversité culturelle qui se crée peu à peu, à côté du droit du commerce et des affaires. Les politiques ont aussi besoin de références, d'expériences réussies. Ils ont besoin d'un cadre institutionnel, juridique qui leur donne légitimité pour agir. Il leur faut enfin un appui méthodologique et professionnel.

Peu d'intérêt est accordé aux politiques culturelles et patrimoniales dans les stratégies d'intervention des collectivités locales et nationales. Ce peu d'intérêt se manifeste de plusieurs manières :

La plupart des villes n'ont pas de musées dignes de ce nom. Peu d'entre elles disposent d'un véritable inventaire de leur patrimoine naturel et culturel. Beaucoup n'ont pas de mécanismes de classement ou de sauvegarde de leur patrimoine. Bien peu sont informées de la Convention du patrimoine mondial. Ici, on peut à bon droit parler d'une fracture, qui fait courir aux pays sous développés et les pays en voies de développement un risque de marginalisation comme cela arrive dans d'autres secteurs de la vie économique et sociale.

⁶¹ **Patrimoine culturel et développement local**- édition craterre-ENSAG/ convention France- UNESCO

II.7 Patrimoine Architecturale en ADOBE

L'architecture de terre est une des formes architecturales les plus anciennes que l'homme a utilisée. La plupart des régions du monde ont conservé une culture vivante des architectures en adobe. Que ce soit au Maghreb, en Afrique subsaharienne, au proche ou en extrême Orient, en Amérique latine et centrale ou dans le grand sud ouest des Etats-Unis, les centres historiques de nombreuses villes, bâtis en adobe, sont encore habités.

La liste du patrimoine mondial de l'UNESCO compte à l'heure actuelle 563 biens culturels dont 96 sont partiellement ou totalement construits en terre⁶². On y trouve une vingtaine de centres historiques bâtis en adobe, parmi lesquels: Ghadamès en Libye, Tombouctou et Djenné au Mali, Alep en Syrie, Sanaa et Shibam au yémen, Boukhara en Ouzbékistan, Lima au Pérou, Mexico et Oaxaca au Mexique, ou encore les pueblos de Taos au Nouveau Mexique, USA.

On doit à l'architecte égyptien Hassan FATHY (1900-1989) la renaissance de la technique de construction en adobe - à travers la modernisation de son image - et ses développements récents à travers le monde, notamment aux Etats-Unis où il fût, en 1981, sollicité par la communauté musulmane pour réaliser un village en adobe à **Abiquiu**, au coeur du Nouveau Mexique. La renommée internationale de celui qui voulait « construire avec le peuple » et qui considérait qu'« il ne doit y avoir ni fausse tradition, ni modernisme factice, mais une architecture qui sera l'expression permanente et visible du caractère de la communauté » lui fût assurée par le projet, au succès pourtant mitigé, de la nouvelle village Gourni, en haute Egypte, réalisé entre 1945 et 1946.

Hassan Fathy, Son oeuvre lui valut le prix spécial d'architecture de la fondation Agha Khan en 1980 et la médaille d'or de l'Union Internationale des Architectes en 1985.

II.8 Patrimoine, Architecture et crise identitaire

La modernité, nous somme tenus inévitablement de vivre notre temps pleinement, et si les époques changes en fonction du temps et pour y vivre nous sommes appelés a nous changés continuellement et a y participer dans la production.

Notre identité, c'est à nous de la produire en réagissant avec le monde qui nous entoure, ou l'on s'identifie sur tout ce qui nous personnalise⁶³.

La crise identitaire en architecture fut révélée à la fin 20^{ème} siècle, les architectes ont découvert l'écart qui s'est creusé entre l'homme et ses valeurs morales, le produit architecturale et artistique ne prenait aucune identité culturelle auquel ils pourraient se rattacher.

⁶² Patrimoine culturel et développement local- édition craterre-ENSAG/ convention France- UNESCO

⁶³ د عبد الباقي ابراهيم المنظور الاسلامي للنظرية المعمارية مركز الدراسات التخطيطية و المعمارية مصر

Le sentiment des architectes occidentaux, que l'identité attribuée à leurs produits au cours du 20^e siècle n'est plus convaincante et ne reflète pas le coût des populations, cela les a bien poussé à réfléchir et à revenir au passé afin de chercher ce qui peut être une solution convaincante aux données actuelles.⁶⁴

Pour les architectes arabes et musulmans le choc fut plus dur car ils ont conclu que leurs patrimoine et riche en matière de ressources artistiques. Deux tendances distincts sont apparues, l'une conservatrice refusant tout éléments modernes, tout en se basant sur l'idée que le patrimoine est un produit brut qu'il faut reproduire intégralement. Cela a conduit à l'apparition d'un style d'architecture reprenant des signes et les arché types et à conclure à un clonage flagrant produisant une architecture de façades désuète de tout âmes et sens. L'autre libéral qui croit que les traditions, sont un produit intellectuel et matériel exprimant le passé et développent une certaine souplesse pour son intégration dans le cadre actuel moderne, enfin son principe se base sur l'intégration au modèle moderne tout en tenant un regard sur le passé⁶⁵.

Delà nous considérons que le retour au patrimoine et son développement au sens de s'intégrer aux réalités actuelles, présente une solution convaincante à la question de la crise identitaire.⁶⁶ Ce retour doit être concrétisé après le respect des recommandations suivantes⁶⁷ :

- 1- encourager tout les efforts pour la repertoriation
- 2- poursuivre les recherches visant à mettre la lumière sur d'autres sites riche en matière de patrimoine architecturales ou autres (matériel et immatériel)
- 3- Renforcer les liens entre les différentes recherches universitaires toutes spécialités confondues.

II.9- Optimiser L'utilisation Des Ressources Locales, En Respectant Les Environnements

L'architecture de terre est présente sur tous les continents habités. On estime que près de 1/3 de l'humanité vit toujours dans un habitat en terre, soit près de 2 milliards de personnes⁶⁸. De tout temps cette architecture a été produite en utilisant les seules ressources locales, directement utiles et accessibles. Les potentialités constructives du matériau terre sont inestimables. Il n'y a pas de terre qui ne soit utile pour construire, hors les espaces désertiques et glaciaires, comme le confirme l'existence d'un patrimoine architectural mondial aussi divers que remarquable.

⁶⁴ Ibid

⁶⁵ د:قبيلة فارس المالكي ، العمارة المعاصرة في العالم الاسلامي ، هويتها و أثر التكنولوجيا فيها ، جامعة بغداد ، العمارة العربية الاسلامية، اشكالية الهوية، المؤتمر المعماري الاول لنقابة المهندسين المعماريين الاردنيين 7-10 سبتمبر 1998 عمان ص 89

⁶⁶ د:وضاح العبادي ، العمارة العربية الاسلامية ، اشكالية هوية العمارة العربية الاسلامية، اشكالية الهوية، المؤتمر المعماري الاول لنقابة المهندسين المعماريين الاردنيين 7-10 سبتمبر 1998 عمان ص 21

⁶⁷ Karim Mechta (De l'authenticité à l'innovation) « patrimoine, tradition et modernité » édition publisud 1991 P46

⁶⁸ J. Dethier jacque mullender Des architectures de terre, ou l'avenir d'une tradition millinaire, CGP 1982

Prolonger cet héritage des bâtisseurs en terre, améliorer les pratiques traditionnelles toujours actuelles, redonner toute leur place aux cultures constructives et aux savoir-faire locaux c'est affirmer la primauté du développement endogène bénéficiaire aux populations locales. C'est confirmer la faisabilité d'une alternative à même d'installer les conditions d'une économie durable.

L'opulence des vestiges des cités antiques, la richesse des villes et médina de l'époque arabe, la multitude des Ksour qui parsèment l'immense désert et la diversité de l'architecture de l'époque coloniale font de l'Algérie l'évocation d'une longue histoire de créativité et de dialogue culturel qui laisse deviner l'existence d'un héritage architectural inestimable⁶⁹. Les uns comme les autres, ces exemples attestent d'une permanence réelle du phénomène urbain depuis l'antiquité jusqu'à nos jours et témoignent d'une réceptivité certaine aux influences architecturales qui ont traversé chaque époque de son histoire.

Cependant, la richesse et la diversité de ce patrimoine architectural reste encore méconnu, aussi bien des algériens eux mêmes que des étrangers. Malgré l'inscription de ses sites majeurs sur la liste du Patrimoine mondial de l'UNESCO et les efforts consentis depuis près de quarante ans pour le développement d'une politique de gestion et de mise en valeur des sites historiques, l'Algérie a subi, comme d'autres pays, les méfaits d'une déformation idéologique de la notion de patrimoine. Bien entendu, c'est sous une vision nouvelle que nous devrions aborder cette question si nous voulons être les dépositaires de ce vaste héritage. Cette nouvelle vision suppose une connaissance approfondie de la substance historique de ce patrimoine, l'examen objectif des problèmes que pose sa conservation et enfin, la mise au point de stratégies durables pour sa protection et sa revalorisation.

La connaissance instruite de l'héritage architectural algérien passe par la confrontation de la recherche scientifique aux savoirs pratiques, pour une revalorisation objective des cultures constructives traditionnelles et une projection créative de l'avenir de l'architecture et son développement en Algérie.

En fin l'objectif global nous pousse à réfléchir à nouveau et mettre en place des principes nouveaux pour une architecture plus adaptée a son environnement, patrimoine et à l'homme ; à l'époque où la nature « environnement » perd son équilibre et la croissance démographique connaît une explosion fulgurante. Par conséquent l'architecte est invité à jouer un rôle d'innovateur pour éviter la catastrophe. La solution actuelle, consciente doit être orientée à ce

⁶⁹ Exposition Constantine .

que : « la vie est composée de matière et d'esprit et que la sensualité exigée est l'amitié ou l'en peut retrouver la relation entre l'homme et l'architecture »⁷⁰ .

Le retour au patrimoine constitue une source de réflexion et d'inspiration, dans le but de fonder une nouvelle idéologie architecturale plus adaptée à l'environnement et surtout plus respectueuse du cadre naturel et socioculturel des hommes.

II.10 **Revalorisation du patrimoine architectural (Architecture de Terre) :**

Les références architecturales nourrissent le travail de conception et aident à forger la personnalité de l'architecte, elles l'aident à se positionner.

Les quelques projets, que nous présentons, sont choisis pour leur exemplarité dans la démarche et dans la réalisation.

Il est indispensable de citer quelques travaux, d'architectes ou organismes, portés sur la terre, comme matière pour leurs réalisations. De la nous pouvons tirer des enseignements importants dans le but de comprendre la matière, le matériau et le mode constructif.

Notre choix sera porté sur trois axes, distincts, dont les objectifs sont différents :

- * le premier traitera l'incontournable architecte, Hassan Fathy, qui par son nom a marqué l'histoire de l'architecture contemporaine comme pionnier de la renaissance de l'architecture arabe. Il fut connu dans ses débuts par son fameux projet pilote de Gournah, et aussi par la revalorisation du patrimoine architectural.

- *le second, abordera l'expérience algérienne marquée par les quelques projets réalisés par l'Etat, (soutenu par la suite par le CNERIB⁷¹ ...), qualifiés d'échec.

- *Analyse des projets réalisés en EUROPE, au USA par de grands architectes de grande renommée, qui font écho à une démarche contemporaine: ils traduisent la volonté des concepteurs de valoriser le matériau, de réhabiliter l'image du matériau terre dans l'architecture actuelle, sans négliger ses atouts principaux de coût modéré, d'inertie thermique, de simplicité de mise en oeuvre.

II.10.1 **Hassan Fathy et la Terre : Gournah un projet ambitieux**

Dès le début des années 30, en Europe se met en place le Mouvement Moderne qui va essaimer ses idées dans le monde entier. Hassan Fathy, a évité, les principes et la méthode des architectes et urbanistes « officiels » et a traduit le vide qui sépare l'architecture populaire de l'architecture des architectes. Il croit qu'il est du devoir de l'architecte de redonner aux peuples

⁷⁰ د محي الدين سلقيني ، العمارة البيئية دار قابس & 1994 ص 14

⁷¹ CNERIB : centre national études et de recherches intégrés du bâtiment

Hassan fathy : est né le 23 mars 1900 Alexandrie, d'origine nubienne, diplômé en architecture de l'Ecole Polytechnique de l'Université du Caire, mort en 1989

la confiance en leur culture et leur patrimoine qui tend à disparaître à jamais, tout en utilisant les formes de l'architecture locale afin d'attirer l'attention des artisans et faire participer tout le monde. Pour ce qui est de la technologie, il pense qu'elle est au service de l'homme et non le contraire, ce service qui concrétise l'équilibre écologique entre l'homme et son environnement ce qui appellera par la suite la technologie équivalente.

Hassan Fathy va s'ancrer dans ses propres traditions pour mieux les dépasser. Les maisons climatiques des mamelouks du Caire ottoman, ingénieusement ombrées et ventilées au moyen de halls sur deux étages, ainsi que les antiques méthodes de construction indigène encore pratiquées dans les zones rurales avec leurs arcs inclinés, leurs coupoles sur trompes, leur plan carré en spirale continue, seront ses principales sources d'inspiration. Il appliquera ses idées dès les années 40 en construisant en terre la maison Hamed Saïd à Marg près du Caire (1942) et surtout le nouveau village de Gournah (1946-1947) qui, malgré un succès très mitigé, lui assura une renommée internationale.

Il est qualifié comme le symbole de résistance, de persistance et d'enrichissement de la pensée architecturale mondiale fondée sur des valeurs islamiques⁷².

L'homme dans sa pensée est la composante morale et matérielle, civilisationnelle, productif et culturel... H. F met un équilibre entre le produit artisanal et le progrès technologique. Il est aussi à comprendre de sa pensée que, le produit manuel a une valeur importante, qu'il faut persister continuellement à plaider la noble cause, quelque soit les entraves et les difficultés administratives. Il est aussi à dire que la pensée de H.F est liée aux valeurs patrimoniales locales et représente par là une des faces de l'idéologie architecturale islamique.⁷³

II.10.1.1 Contexte socio-économique :

À l'époque la plupart des architectes égyptiens comptèrent sur l'importation des matériaux de constructions des pays occidentaux, pour construire, seulement les circonstances n'ont pas été favorables, alors que la guerre éclata et toute construction fut arrêtée⁷⁴. Le monde vient juste de sortir de la deuxième guerre mondiale, et la reconstruction était le seul point d'ordre chez la plupart des pays touchés par la guerre, par conséquent la pénurie de matériaux fut bien ressentie chez les pays en développement, le coût de réalisation augmentait sans cesse, en contre partie, la crise de logements connaît son apogée d'où la nécessité de répondre à un besoin vital urgent sans compromettre la crédibilité de l'Etat.

⁷² د عبد الباقي ابراهيم المنصور الاسلامي للنظرية المعمارية مركز الدراسات التخطيطية و المعمارية مصر

⁷³ IBID P 121

⁷⁴ H. Fathy , construire avec le peuple edition sundbad 1979 P 29

Hassan .F fut désigné pour la reconstruction du village Gournah, son objectif en premier temps était d'offrir un espace convenable aux paysans égyptiens. Plusieurs contraintes et obstacles administratifs que financiers ont entravés ses travaux et il lui a fallu construire des échantillons en brique de terre dans le but de convaincre certaines personnes et administrateurs.

II.10.1.2 La Solution ! la Brique de boue :

La brique de boue, mais pourquoi pas ? Certes les habitations des paysans étaient petites, sombres, sales et peu confortables, mais ce n'est pas la faute de la brique de boue.⁷⁵ La terre comme matériau de construction fut donc la solution miracle pour Hassan Fathy .

une recherche minutieuse, fut donc entamée, dans les sites et vestiges ancestraux des anciens égyptiens afin de comprendre les différentes techniques utilisées à l'époque, la recherche ne s'est uniquement pas limitée à redécouvrir les techniques mais de chercher les hommes qui les possèdent, la conservent ; et la maîtrisent toujours encore.

« c'était un monde nouveau pour moi, tout un village de maisons spacieuses, jolies, propres et harmonieuses, l'une plus belle que l'autre Dont l'architecture avait été préservée pendant des siècles loin des influences étrangères »⁷⁶



Figure 10 des voûtes égyptiennes réalisées sans coffrage, un savoir faire antique.

(Source : construire avec le peuple ed :sindbad)

Par son puisement dans le patrimoine architecturale, des anciens égyptiens, il se pose la question : comment les ancêtres furent-ils bien capables de fonder une civilisation dont les constructions, en terres, témoignent des potentialités du matériau terre, et de sa durabilité.

La terre : * une matière disponible sur site et à très faible coût

* une technique ancestrales, toujours valable, n'attendant plus qu'à être propulsée vers l'avant.

* une main d'œuvre brute, capable de reprendre, le relais, civilisationnel.

Une théorie est donc naît, basée sur :

⁷⁵ IBID P 28

⁷⁶ ibid P 30

- l'équilibre écologique entre l'homme et l'environnement.
- La revalorisation de l'identité culturelle et patrimoniale.
- Une personne ne peut bâtir une maison mais dix personnes peuvent en construire dix maisons.

L'architecte a développé les anciennes mises en œuvres de la terre, notamment la construction des murs et toit sans coffrages ou étaieement ni utilisation de ciment, c'était une idée maîtresse, la revalorisation des techniques anciennes et de la terre a concilié et réconcilié l'homme et son passé, **un grand obstacle d'ordre psychologique fut bien dépassé.**

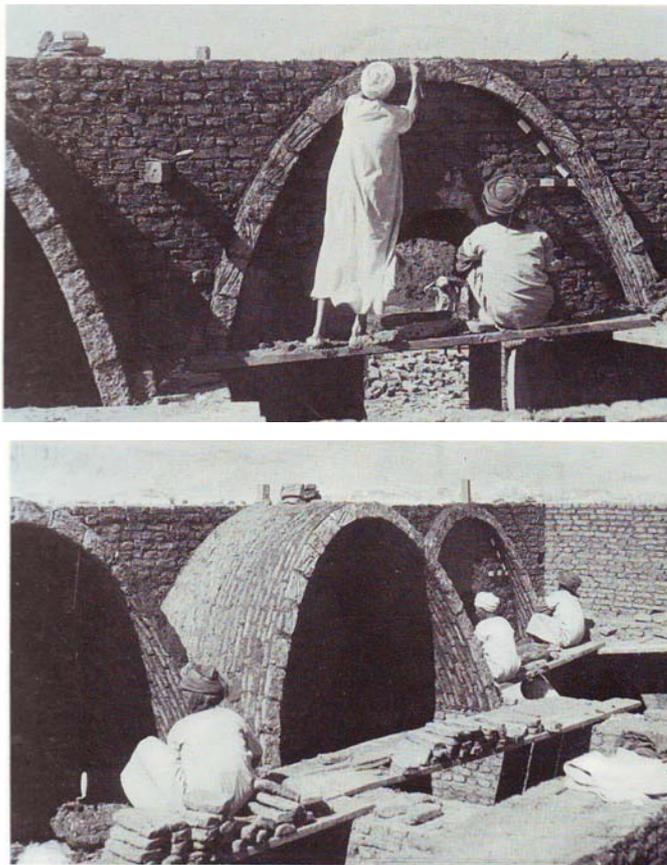


Figure 11&12 : application du savoir faire antique, méthode sans coffrage.

(source : construire avec le peuple)

L'expérience de Hassan fathy fut connue plus en occident qu'aux pays arabes, au moment ou on arrive même pas à citer son nom dans les programmes pédagogiques, nous l'avons connu à travers ses publications traduites et publiées en langues étrangères (français), car nos architectes étaient orientés vers le progrès technologique qu'offrait la civilisation occidentale sans prendre conscience de l'influence sur les valeurs nationales, culturelles et socio-économiques⁷⁷.

⁷⁷ Ibid p130

L'oeuvre de Hassan Fathy n'est évidemment pas, quantitativement, à la mesure de sa renommée. certaines œuvres ont marqué son parcours, tel que : l'école de Farès toujours en terre ; une maison à Sidi Kreir près d'Alexandrie, en sable aggloméré cette fois-ci ; la maison Fouad Riad près de Saqqara, et enfin, le nouveau village de Bâriz dans une oasis près de Kharga en 1965. Sans oublier, bien sûr, le village de Dar al-Islam d'Abiquiu en 1980...

H.fathy a donné l'opportunité de faire une transition appropriée vers les recherches en architecture qui abordent la conception architecturale et urbaine en associant une étude anthropologique. En dépit d'un truisme fort répandu, l'échec de son projet « Gourna » n'est pas un critère de son invalidité absolue. D'autant plus que le gouvernement égyptien fut le responsable du choix du site du projet, un des facteurs principal de l'échec, loin de, l'ancien village qui renferme les tombes, seule ressource économique des paysans.

L'idée de puiser dans le patrimoine ancestral et développer une solution qui s'accorde avec les valeurs contemporaines en harmonisant le progrès humain à son environnement était inconcevable si non inacceptable. Et si la théorie de hassan fathy connaît beaucoup d'avantages et d'inconvénients notamment tout ce qui ce rapporte aux difficultés administratives et financières, sa pensée n'a pas connu de propagation, à cause probablement à son incompatibilité au système administratif ou à l'incompréhension du système à son expérience qui ne s'adapte plus aux données réelles⁷⁸.

Enfin ce qu'est à retenir dans cette expérience extraordinaire de H.fathy, c'est

- la volonté et la persistance sont bien nécessaires pour défendre et plaider la bonne cause.
- la patrimoine est une réserve parfois miraculeuse, pour nos problèmes contemporains
- la terre est une matière, bien que présente partout, peut être exploitée à des fins techniques et elle présente un potentiel concurrentiel, sur tout les plans.
- mettre en valeur l'identité culturelle et patrimoniale

II.10.2 -L'architecture en Terre , l'expérience Algérienne

L'algerie a manifesté très tôt son intérêt à l'architecture de terre, par la réalisation de quelques projets pilotes et ce depuis les années 70. La réalisation de trente logements ruraux, a Mustapha Ben Brahim (Sidi Bel Abes), est inscrite dans le cadre des milles villages agricoles lancés en 1970. Les directives du premier congrès sur l'habitat rural en Algérie, orientèrent sur l'utilisation des matériaux locaux telle LA TERRE.

⁷⁸ د عبد الباقي ابراهيم المنظور الاسلامي للنظرية المعمارية مركز الدراسات التخطيطية و المعمارية مصر

A l'époque l'Algérie connaissait une crise de logement importante, accompagnée d'un exode rural et une volonté de promouvoir le secteur industriel.

les objectifs affichés par le gouvernement étaient :

- L'utilisation de la terre dans les projet de construction ruraux allait absorber la main d'œuvre non qualifiée et de freiner l'exode.
- Rompre l'obstacle psychologique et faire accepter le matériau, terre, et généraliser son utilisation.
- Réduire l'utilisation du ciment.

Le projet qui fut livré aux occupants en 1976, est considéré pour plusieurs observateurs comme un échec, car l'Etat algérien fraîchement indépendant à tendance à tracer des chemins vers des horizons synonyme de développement et progrès technologique, et effacer les marques du Colonialisme représentées par la misère et la pauvreté ; et créer dans les campagnes une société nouvelle ou il n'y aura pas de place pour la mentalité des quartiers pauvres ou de bidonvilles, ou il n'y aura ni malheur ni misère Malheureusement les maisons en terre rappelaient un passé archaïque⁷⁹.

L'industrialisation le choix stratégique de l'état algérien afin de ce détacher du passé colonial, par conséquent a entravé la réalisation du projet.⁸⁰ L'esprit autoritaire, des pouvoirs politiques, a contribué d'une manière indirecte à former des objections face au projet, en écartant la population local du montage de l'opération. Il aurait été judicieux d'engager des études d'analyse au préalable sur les systèmes constructifs et le savoir faire local qui pouvaient être améliorés par la participation des spécialistes. En fin les données socio-économiques et culturels non pas étaient investies dans l'intérêt de la réussite du projet.

Le centre national d'études et de recherches intégrés du bâtiment (CNERIB) à lancé des recherches et études sur le BTS (béton de terre stabilisé) et plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le tableau qui suit :

⁷⁹ M Arkoun the socialiste villages experiment in Algeria in N. Kebaili memoire de magister EPAU 2006

⁸⁰ **Pascal Odul** : l'architecture de terre en Algérie, Belgique, 1983

Tableau 3 opérations des différentes réalisations en terre en ALGERIE

Année	Opération de construction en terre
1969	Réalisation de 136 Logements en pisé au village agricole bouhilet à Batna
1971	Un groupe de maisons rurales à Zeralda en collaboration avec une équipe franco- belge
1973	30 des 300 logts du village Mustapha ben Brahim S B Abbés
1975	Le village de abadla
1976	100 logts du village agricole Feliache Biskra
1980	120 logements village Madher Boussaada
1981	40 logements à Chéraga pres d'alger
1984	Un prototype bioclimatique construit à Tammanrasset
1984	Un prototype réalisé par CNERIB en terre comprimée
1986	10 logts à Adrar en BTS
1986	10 logts à Régane en BTS
1994	24 logts à Tammanrasset –OPGI- en BTS
1994	44 logts à Tammanrasset EN BTS
1998	Un prototype en pisé réalisé au CNERIB

(source : Memoire de magister kebaili .N année 2006)

Deux axes ont été développés dans le but de garantir les matériaux et les structures en terre :

- la connaissance du matériau.
- l'utilisation de la terre dans la construction.

pour le premier axe les recherches se sont concentrés sur les procédés en BTS et PISE , pour le second axe les recherches devront se mener sur les formes architecturales ,adaptives aux models sociales algériens, les détails constructifs architecturaux et la durabilité des constructions en terre dans le temps .

II.10.3.- Réalisations contemporaines occidentales

Nous estimons qu'il est préférable de présenter quelques réalisations contemporaines en terre crue pour montrer, la possibilité d'intégration du matériau terre dans des projets d'architecture moderne, de différent styles, ces projets font écho à une démarche contemporaine:

Ils traduisent la volonté des concepteurs de valoriser le matériau, de réhabiliter l'image du matériau terre dans l'architecture actuelle, sans négliger ses atouts principaux de coût modéré, d'inertie thermique, de simplicité de mise en oeuvre...

II.10.3.1 Studio en pisé, Tucson, Arizona, 2000

Architectes : Rick Joy

Ce projet en pisé est délibérément contemporain.

* Objectifs : Insérer dans une parcelle étroite un bâtiment tourné sur lui-même.

Concevoir un projet confortable dans une région aride et dans un quartier peu « recommandable».

* Programme :

Un studio de travail; une petite cuisine; une salle d'eau; une cour extérieure.

Solutions techniques : les murs périphériques et les murs de refend sont en pisé stabilisé à 3%
Le portail d'entrée est en parement bois fixé à une structure métallique et pivote grâce à un axe inséré dans le linteau du mur d'entrée.

Un mur de verre sépare le studio de travail de la cour extérieure. Il est accroché à une poutre métallique longitudinale par des pattes inox.

La toiture est réalisée en ossature métallique à la manière d'un plancher : permettant d'accrocher un faux plafond en plaques de tôle.

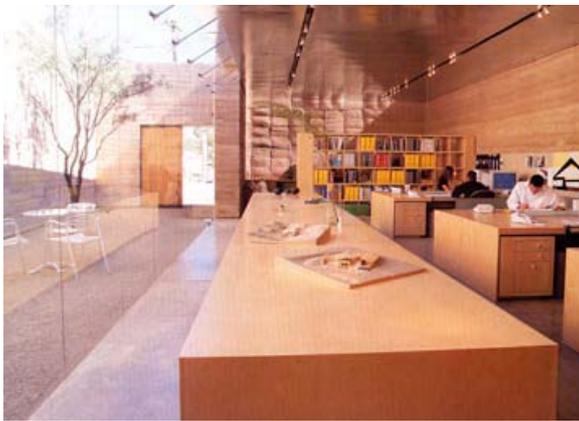


Figure 13, vue intérieure, très bonne intégration de la terre



**Figure 14 vue générale sur le projet
(source : craterre)**

La couverture est réalisée en double pente tournée vers l'intérieur afin de récupérer les eaux pluviales.

Le projet se situe dans le quartier historique de Tucson, en Arizona. C'est un bâtiment tourné sur lui même, aux allures de forteresse dans une optique de sécurité. L'entrée se fait par un portail imposant qui pivote dans le mur d'enceinte et dévoile une petite cour, étroite qui possède un arbre en son milieu et un petit bassin dans le fond de la parcelle. Le mur d'enceinte de 1,2 m d'épaisseur et de 4 m de haut est, à l'extérieur comme à l'intérieur, en terre apparente.

Il est très impressionnant. L'épaisseur du mur en pisé est une nécessité structurelle pour l'accroche du mur de verre et une nécessité pour le confort thermique grâce à l'inertie que procure son épaisseur.

Le mur de verre se présente depuis la cour comme un immense miroir qui donne de l'espace à cet extérieur étroit. Il procure également une sensation de légèreté, car il ne possède

aucune ossature pour le soutenir. A l'intérieur, une seule pièce s'étend entre le mur pisé et le mur de verre. Le plafond en acier poli procure une sensation de fraîcheur agréable sous ce climat, mais il est surtout fonctionnel : il contient tous les réseaux électriques et les luminaires.



Figure 15 vue intérieure montrant le contraste de la terre au verre (source craterre)

L'architecte se sert de la simplicité du programme pour réactualiser les techniques de construction traditionnelle du pisé et adapter ces dernières à une conception architecturale contemporaine. Mais ces choix ont été fait également pour des raisons de confort et d'esthétique. Rick Joy a su rendre dans son projet l'aspect esthétique de la terre en laissant les murs apparents et en travaillant sur leurs couleurs et textures. Il a utilisé trois types de terre différente qu'il a mis en scène dans la composition des murs par la distinction des différentes couches pisées.

Les quelques éléments structurels de linteaux en acier paraissent invisibles, noyés dans ce mur d'enceinte impressionnant dont la couleur est accentuée par l'adjonction d'oxyde de fer. L'architecte a réussi à concevoir un bâtiment d'une grande élégance aux allures modernes, presque high-tech, en mettant en scène un matériau disponible et peu coûteux en résonance avec des matériaux plus industrialisés et faisant appel à une technique de pointe tels que le verre ou l'acier.

II.10.3.2 Expérimentation en Norvège, en 1992

Architecte : Sverre Fehn

*Objectifs:

Adapter les techniques constructives artisanales traditionnelles aux formes architecturales Contemporaines. Utiliser les matières premières peu coûteuses et disponibles à volonté : terre, paille, chaux, eau... et la main de l'homme pour le façonnage.

* Programme:

Concevoir un projet épuré de tout élément superflu ; intégrer dès le concept un

Fonctionnement futur impliquant une consommation minimum d'énergie (récupération des eaux pluviales, énergie solaire...); faire en sorte qu'il soit réalisable par les étudiants en architecture d'Helsinki.

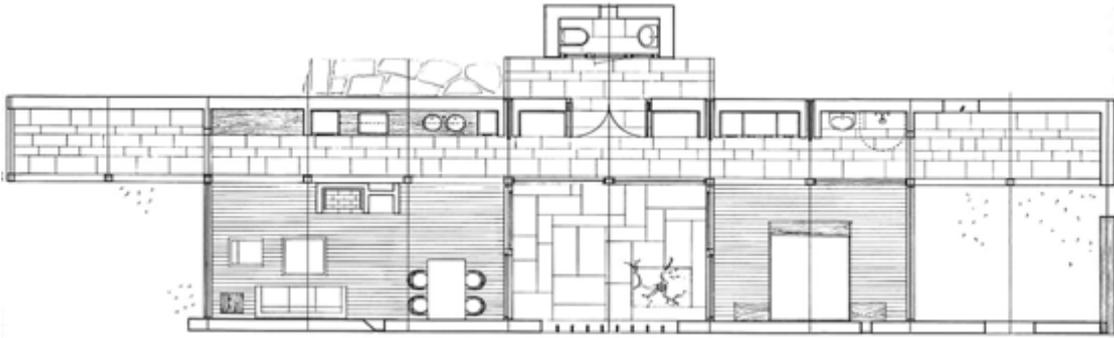


Figure 16 vue en plan du projet à réaliser (source : craterre)

* Solutions techniques:

Fondations en plots bétons.

Structure principale en bois de chêne qui définit la trame constructive.

Les blocs de terre paille vont remplir les cadres de la structure.

La dimension des moules pour faire les blocs est induite par la trame constructive.

Moulage et séchage (deux semaines) des blocs.

Les murs une fois appareillés sont ensuite enduits sur les faces extérieures avec un mortier de terre et à l'intérieur avec un mortier de chaux.

Le Nord de l'Europe reste lié au matériau terre utilisé dans l'architecture traditionnelle et développe depuis quelques années des recherches et des expérimentations sur les techniques constructives utilisant des matières premières disponibles et peu coûteuses.



Figure 17 vue sur le projet réalisé . (source craterre.fr)

Sverre Fehn se place dans cette démarche d'expérimentation guidé par une recherche d'économie globale et de qualité environnementale. En effet ses préoccupations sont en partie liées au développement durable. Il cherche également à démontrer dans son enseignement auprès des jeunes architectes finlandais que la conception de projets d'architecture actuels n'est pas incompatible avec des pratiques constructives traditionnelles, mais au contraire qu'il faut

chercher à faire évoluer ces pratiques pour les adapter à un processus de mise en oeuvre moderne.

Le projet réalisé ici par des étudiants d'architecture est un prototype qui teste dans son ensemble le concept d'économie globale et veut être un modèle en terme d'impact minimum sur l'environnement. Ainsi dans la construction, les matériaux sont issus du sol (que ce soit la terre, le bois ou la paille) et sont mis en oeuvre par l'énergie de l'homme.

De même dans son fonctionnement, la vie du bâtiment est assurée par la récupération des eaux pluviales et par la récupération de l'énergie solaire. La double trame du projet est au service de cette démarche environnementale.

L'architecte prévoit une bande servante, distincte des espaces de vie, qui regroupe toutes les pièces contenant les arrivées et évacuations pour une gestion facilitée des eaux. Cette double trame permet également, lors de la construction, l'emploi de courtes sections de bois correspondant à une faible portée. Les murs sont ainsi constitués d'une ossature fine en planches de bois remplie par les blocs de terre paille. L'interaction de ces deux éléments est totale car les cadres très légers ne seraient pas stables sans les blocs de terre, et les murs maçonnés se servent habilement des cadres pour une mise en oeuvre très rapide et efficace.

La charpente est courbe et procure un espace généreux tout en économisant la quantité de bois utilisé. Le résultat, au bout de huit semaines de chantier, est probant. Le pari d'adapter les techniques traditionnelles, notamment de la terre paille, à la construction de projets

Actuel, paraît réussi.



Figure 18 Vue intérieur du bâtiment et des sorties d'air à travers les murs en pisé (source craterre)



Figure 19 vue interieur du batiment

Bouches de ventilation
sur pise

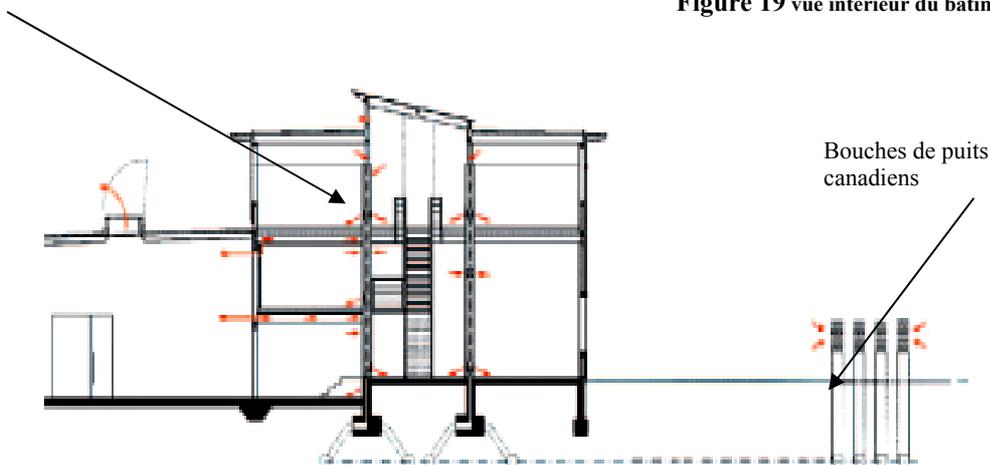


Fig 20 Coupe est-ouest sur le bâtiment - Ech. 1/300° -La circulation d'air depuis les puits canadien s'effectue à travers les murs en pisé pour permettre une meilleur régulation thermique.

II.10.3.3 **Le pisé préfabriqué**

Martin RAUCH, artiste, artisan piseur

Fait parti des pionner du renouveau du pisé en Europe. Cette artiste autrichien a suivie un parcours originale qui la mené jusqu'à la construction en terre crue. Il a une formation de céramiste et de sculpteur. Au cours des quinze dernières années, il a réalisé de nombreux projets utilisant cette technique de mise en oeuvre de la terre crue.

Cet entrepreneur a ouvert un atelier dans la région du Vorarlberg, une région qui abritait le mouvement de Baukünstler, composée d'architecte réputés d'être *«Soucieux des économies de matière et d'énergie, leur approche est une synthèse de ce qui est esthétiquement souhaitable, constructivement raisonnable, et socialement justifiable.»*⁸¹ D'après Dominique Gauzin-Müller Ces connaissances de l'argile crue associé à la capacité de création de l'artiste lui ont permis de choisir et développer ces propres instruments. Dans les projets auxquels participe Marin Rauch, la terre crue n'est plus seulement un matériau pour écologiste en mal d'alternatives.

Il propose aux architectes un matériau qui dispose de toutes les qualités spécifiques de la terre : qualités plastiques, régulation thermique grâce à sa masse, régulation hygrométrique des microclimats intérieurs...

Pour chaque projet, il propose une solution économique en adaptant la mise en oeuvre du pisé à chaque chantier.

Cet artisan a su à chaque projet à travers des prototypes et des phases exploratoires de réinventer la potentialité du matériau.

Exemple d'un bâtiment d'activité :

Ce bâtiment d'activité pour une imprimerie, en ossature bois, est composé d'un corps de bâtiment sur deux étages renfermant les bureaux et d'une halle de dimension importante pour les machines. Les bureaux sont distribués par un espace centrale éclairé zénithalement par une toiture vitrée. Dans cette espace centrale la structure en bois est combinée avec 160 blocs de pisé préfabriqué.

Dans ce projet les matériaux terre crue, bois, et verre ont été utilisé pour leur complémentarité : le bois et le verre pour leur mise en oeuvre simple et leur flexibilité alors que les murs en terre, qui servent d'accumulateur thermique, apportent la masse manquante à l'édifice.

⁸¹ Dominique Gauzin-Müller *Architecte et journaliste française Vivant en Allemagne depuis de nombreuses années; à travers ses différents livres et articles, elle est un relais des expériences dunord de l'Europe en terme d'architecture écologique et deconstruction en bois.*

Ces blocs préfabriqués de 40 cm d'épaisseur sont des murs hypocaustes. Des réservations ont été réalisées à l'intérieur des blocs sous la forme de passages verticaux qui permettent la circulation de l'air. Ils sont combinés à un système de puits canadiens qui permet le rafraîchissement de l'air en été sans courant d'air et son préchauffage en hiver. Les blocs en terre garantissent ainsi un climat intérieur thermique idéal sans radiateurs conventionnelles ni système d'air conditionné.

La terre crue utilisée comme un matériau contemporain dans son esthétisme, dans sa mise en œuvre et dans ses potentialités thermiques devient un matériau pour une architecture concurrentielle.

Le pisé préfabriqué

Les blocs de pisé, utilisés, de formats 1,7 x 1,3 x 0,4 mètres ont été réalisés en atelier puis transporter jusqu'au chantier par camion. La réalisation de ces éléments a demandé 3 mois de travail et 208 tonnes de terre⁸². Le montage des éléments c'est lui réalisé en seulement deux semaines en parallèle du montage de l'ossature bois. Pour placer les blocs des engins de levage (type grue) ont été nécessaires.

Des vides, réservés à la circulation de l'air, associés aux puits canadiens.

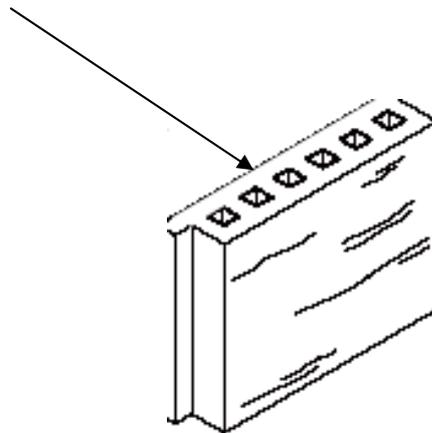


Figure 21 Schéma d'un bloc de pisé de dimension 1,7m x 1,3m x 40 cm d'épaisseur
(source craterre)

⁸² Julien Chabane, DSA, Une ossature bois spécifique au remplissage, 2006 –Grenoble

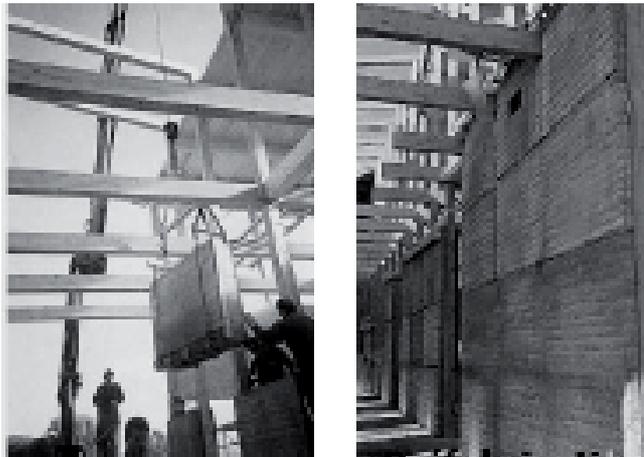


Figure 22 assemblage et pose de blocs de pisé sur le lieu du chantier. (Source craterre)

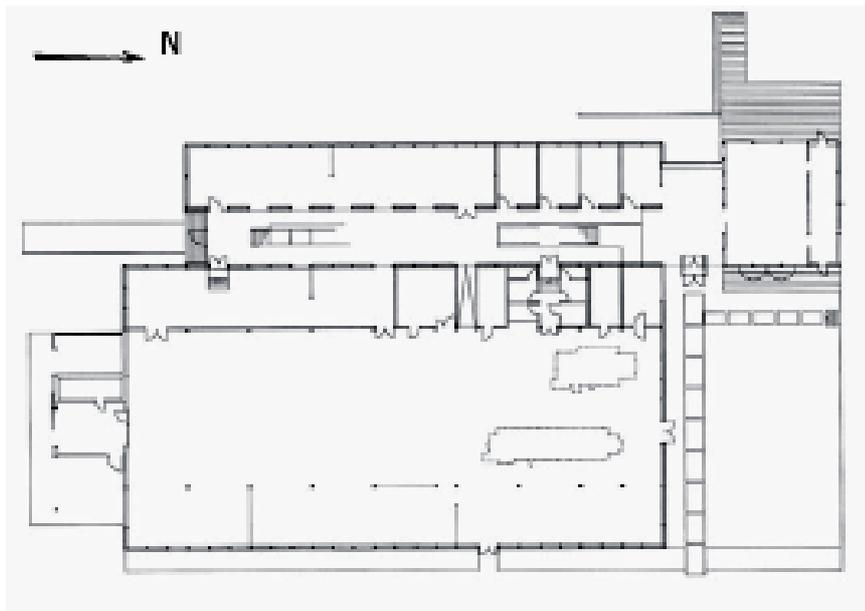


Figure 23 vue en plan de l'imprimerie (source craterre)

CONCLUSION :

A travers ces exemples nous pouvons en déduire des enseignements importants sur l'utilisation de la matière terre comme matériau et aussi un moyen de développement pouvant avoir un impact socio-économique et culturel.

Le patrimoine architectural est une ressource, et un héritage culturel inerte qu'il faut redécouvrir et revaloriser, car une tradition n'est plus synonyme d'immobilisme, plutôt un vrai moteur socio-économique et culturel.

Certes sa revalorisation est entravée par des préjugés à caractères psychologiques et politiques. L'utilisation de la terre comme matériau de construction chez les sociétés en développement « africaines, asiatique et... » est rejetée car il est associé à certaines valeurs rappelant, misère, pauvreté, et sous développement, malheureusement cet esprit est bien enraciné même chez les décideurs et intellectuels.

Etudier la terre en tant que matière et la soumettre à des recherches très approfondies afin de la maîtriser et connaître ses potentialités techniques, faciliter son insertion dans les courants modernistes et permettre l'équilibre entre l'homme et son environnement, Pour cela il est indispensable d'associer tous les acteurs à toutes les échelles de décision. (Décideurs politiques, économistes, architectes, organismes socioculturels ect... et lui donner un cachet assimilé à de bonnes valeurs.

III. Chapitre: LA TERRE, DE LA MATIERE AU MATERIAU

Introduction

L'objet de la recherche est de mieux comprendre les architectures de terre à travers une meilleure Compréhension de la matière qui leur sert de support : la terre.

Il va de soi que comprendre ces architectures passe avant tout par une meilleure compréhension des hommes, des sociétés et des cultures qui les font naître, mais il est également nécessaire de mieux connaître la matière pour la mieux maîtriser et mieux la développer.

Des matières premières différentes, aux propriétés différentes, induisent des pratiques humaines diversifiées, auxquelles correspond une diversification des cultures constructives. A l'heure actuelle, cette diversité constitue le principal obstacle à la compréhension du matériau terre. Derrière l'expression *matériau terre* au singulier, se cache une infinité de matières aux propriétés physico-chimiques variées qui définissent toute une gamme de matériaux qui vont du sable au béton. En d'autres termes, on confond des matériaux comme celui, sur la photo 1.a, mélange de sables et de graviers, qui ne contient presque pas d'argile, ayant servi à construire des pans entiers de la muraille de Chine et n'ayant guère plus de cohésion que du sable, et des matériaux comme celui de la photo 1.b, beaucoup plus proches du béton, d'autant plus s'ils sont stabilisés. Ils peuvent alors être assimilés au béton le plus utilisé à l'heure actuelle dans nos sociétés : le béton de ciment Portland.



(photo1a) photo (2b)

Figure 24 Deux illustrations l'une de la muraille de chine qui tient toujours debout, l'autre d'un bâtiment moderne en terre, en mode Pisé, en Australie, (source : craterre)

Pour faire face à cette diversité, considérons cette matière terre dans le cadre plus large des bétons, béton étant un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sables, graviers, etc.) agglomérés par un ciment.

Pour comprendre de *façon* intrinsèque le matériau et l'utiliser au mieux. Aujourd'hui il paraît essentiel d'aborder le matériau terre par ses composants et d'évoquer les phénomènes fondamentaux auxquels il est soumis, notamment les limites de plasticité et de liquidité, la répartition de charges, la force de frottement et les effets de voûte⁸³.
il est indispensable pour être pertinent de nos jours, de construire vite et en respectant l'environnement. Il faut donc innover et trouver des modes de mise en oeuvre de la terre plus rapides.

III.2 Connaitre La Matière :

On ne peut comprendre les fonctionnements de la matière à l'échelle de la construction sans connaître les phénomènes micro et nanoscopiques qui régissent la matière. Donc comprendre le comportement atomique d'un solide, par exemple les argiles, les sables, et autres composants du matériau terre, va nous éclairer sur ses caractéristiques et ses potentialités à l'échelle macroscopique.

« Depuis Galilé en 1632, les scientifiques explorent la matière, ils cherchent à mathématiser la matière afin de comprendre pourquoi tel matériau est cassant, tel autre est souple, pourquoi la glace fond et à quelle température, etc.

Mais pour progresser dans l'avancement des connaissances, il faut connaître les caractéristiques des atomes (dimensions, formes...) et donc s'intéresser aux échelles microscopique et nanoscopique. Deux siècles plus tard, R. Feynman propose le modèle atomique de la matière : « Toutes les choses sont faites d'atomes - petites particules qui se déplacent en mouvement perpétuel, s'attirant mutuellement à petite distance et se repoussant quand on veut les pénétrer ». ⁸⁴

Aujourd'hui on connaît la matière au niveau atomique. Cependant, les atomes sont très petits et très nombreux, et les structures sont très complexes. Le modèle atomique est une image simplifiée d'atomes sphériques indispensable à la compréhension des grands principes mais ce sont les «défauts» qui font les matériaux réels. ⁸⁵

Les recherches actuelles sur la cohérence et la cohésion du matériau terre cherchent à définir comment une plaquette d'argile colle à une autre.»

⁸³ Romain anger doctorat, Architectures de terre et diversité des matériaux granulaires, INSA de Lyon / ENSAG

⁸⁴ Jean marie le Tiec Habitat léger de loisir, - Ecole d'architecture de Grenoble 2005-

⁸⁵ Ibid

III.3 Définition De La Terre

La terre est un milieu poreux multiphasique comprenant une phase solide, une phase liquide (principalement de l'eau) et une phase gazeuse (principalement de l'air). La phase solide est constituée de la matière minérale, ensemble de particules élémentaires d'origine et de composition diverses, et de la matière organique. La matière minérale est constituée de minéraux primaires inaltérés :

Cailloux (20-200 mm), Gravier (2-20 mm), Sables constitués principalement de silice et de quartz (0.06-2 mm) et silts (0.06mm-2 μ m) et de minéraux secondaires altérés ou colloïdaux, comme les argiles (inférieur à 2 μ m) ou les oxy-hydroxides. Les minéraux inaltérés forment le squelette granulaire et confère au matériau une ossature rigide. Ils apportent une grande partie de la résistance mécanique de la terre et, ont une grande friction interne mais n'ont pas de cohésion. Grace à leur stabilité, ils limitent le retrait.⁸⁶

Les caractéristiques physiques et chimiques des argiles sont différentes de celles des autres constituants de la terre. Elles contribuent de manière importante aux propriétés de la terre : elles lui apportent sa plasticité en conditions très humides grâce aux couches d'eau qui adhèrent aux couches d'argile et qui lient les particules entre elles. Les argiles forment une matrice liante qui enrobe et lie les granulats entre eux. La matrice argileuse se présente sous la forme d'une structure complexe poreuse dont la taille des pores varie du nanomètre au micromètre.

III.4 les Composant de la Terre :

Le matériau terre est constitué de plusieurs éléments :

- Les constituants gazeux : principalement de l'air.
- Les constituants liquides : principalement de l'eau.
- Les constituants solides : la matière minérale et la matière organique.⁸⁷

III.4.1 Constituants gazeux

C'est l'atmosphère de la terre : ils sont localisés dans les cavités et proviennent de l'air extérieur, de la vie des organismes et de la décomposition des matières organiques. Les constituants de l'air sont l'azote, l'oxygène, le gaz carbonique. On trouve aussi des gaz issus de la décomposition organique et de la respiration des êtres vivants : le gaz coarbonique, l'hydrogène, le méthane...

⁸⁶ Laetitia FONTAINE Cohésions et comportement mécanique de la terre comme matériau de construction, mémoire DPEA 2002-2004. P6. E.A.Grenoble

⁸⁷ Ibid

III.4.2 Constituants-liquides

C'est la solution de la terre : ils sont solubles dans l'eau et proviennent à la fois de la pluie et des conditions atmosphériques (brouillard, humidité relative), des apports de l'homme et de la décomposition des matières organiques. Les constituants liquides sont : l'eau, les éléments solubles dissous dans cette eau tels que corps organiques (sucres, alcools, acides organiques), et corps minéraux (acides, base et sels en partie dissociés en en partie dissociés en ions Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , PO_4^{---} , SO_4^{--} , CO_3^{--} , NO_3^{--} , etc.).

III.4.3- Constituants solides

Ce sont les constituants minéraux ou constituants mécaniques, provenant de la désagrégation de la roche mère ou apportés par l'homme. Issus de la désagrégation des roches, "les éléments sableux" sont soit des fragments de roche (pierres et graviers), soit des minéraux qui constituent ces roches (sables et limons). Ils sont de même composition que ces minéraux et peuvent être siliceux, silicatés ou calcaires. les proportions respectives et la répartition de ces constituants caractérisent la structure et la texture de la terre qui précisent les propriétés

III.5 La Genèse de la terre :

III.5.1 De La Géologie a L'architecture

Le lien entre la géologie et l'architecture de terre est fondamental. Il met en valeur l'idée forte que l'on construit avec ce que l'on a sous les pieds. Chaque grain a une histoire géologique, qui permet de mieux comprendre sa nature. Avec la terre, on fait un béton naturel, c'est-à-dire une roche reconstituée. Il existe des cycles de vie de la terre ou des sédiments, qui proviennent d'une roche et qui vont reconstituer une roche. En construisant en terre, on reproduit ce mécanisme géologique qui se produit sur des millions d'années. La vision d'une histoire humaine qui s'inscrit dans une histoire géologique invite à reconsidérer notre place dans l'univers.

90 % de la surface de la terre est couverte de grains. Le sable est présent en d'énormes quantités dans les déserts qui couvrent plus de 10 % de la surface émergée de la planète. Les plages et les fonds marins constituent d'énormes réservoirs naturels de sable. C'est donc en toute logique que l'Homme, qui se sert des matériaux locaux à sa disposition, utilise des grains pour construire. On estime qu'au minimum 30 % de la population mondiale vit dans des constructions

en terre et 17 % des constructions inscrites sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO sont des œuvres architecturales en terre.⁸⁸

Le fonctionnement de base de la matière en grains, invite à passer successivement de la géologie à la construction et à établir des liens entre les paysages, la matière et l'architecture. Dans ce circuit initiatique, beaucoup plus que la découverte de lois qui gouvernent la matière, c'est une transformation des conceptions du monde qui est en jeu. On est tour à tour invité à changer d'échelle, à la fois au niveau spatial (de l'infiniment petit à l'infiniment grand) et temporel (temps humain et temps géologique) et à porter un regard attentif sur la nature.⁸⁹

III.5-2 Pédogenèse

« La terre est une ressource naturelle très répandue. Elle provient de la dégradation de la roche mère, consécutive aux phénomènes d'érosion climatique et chimique. De fait, toutes les terres possèdent des caractéristiques très différentes en fonction de leur provenance. »⁹⁰

III.5-2.1 Définition

Le sol est la fraction solide de la sphère terrestre. A la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable, qui supporte les êtres vivants et leurs ouvrages et où poussent les végétaux. Elle résulte de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques liés aux conditions bioclimatiques et à la vie animale et végétale. La formation et l'évolution d'un sol s'opèrent selon trois processus, plus ou moins simultanés.

III.5-2.2 Altération.de.la.roche.mère

Sur une roche mère dénudée par l'érosion, les facteurs climatiques-soleil, pluie, froid et vent-agissent. La roche mère peut être dure (granite, schiste, grès...), tendre (craie, marne, argile...) ou meuble (sables, éboulis, loess...) et fissurée, réduite en éléments plus fins ; elle est désagrégée. Ensuite, les facteurs climatiques opèrent une altération chimique. Le résultat de ce processus est un mélange d'éléments : des minéraux plus ou moins désagrégés et non encore altérés : blocs de pierre, graviers, sables et limon pulvérulent ; une sorte de pâte ou "complexe d'altération" résultant de l'altération chimique des minéraux : pâte d'argile colorée par des oxydes de fer, sels plus ou moins solubles de Ca, Mg, K, Na, etc.⁹¹

⁸⁸ WWW.craterre.fr consulté en 2007

⁸⁹ Romain Anger & Laetitia Fontain, GRAINS DE BATISSEURS Ed craterre 2005

⁹⁰ WWW. Craterre.fr consulte en 2007

⁹¹ **Romain anger** doctorat, Architectures de terre et diversité des matériaux granulaires, INSA de Lyon / ENSAG

III.5-2.3 Poursuite De L'altération Par Les Matières Organiques

Le sol désagrégé et altéré, constitué de minéraux et d'éléments plus ou moins pâteux est alors colonisé par une flore et une faune qui l'enrichissent en substances chimiques et organiques, dont l'humus. L'humus a des propriétés différentes selon la nature du climat, de la roche mère et de la végétation ; il continue, avec les agents climatiques, à altérer les minéraux du sol. Le nouveau sol, non évolué, a un profil homogène et précise ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

III.5-2.4 migrations,verticales.des.éléments.solubles.

Sous climat pluvieux, les éléments solubles migrent vers le bas : c'est le lessivage. Sous climat sec à forte évaporation, les éléments solubles migrent vers la surface et l'enrichissent. Cette migration des éléments, accélérée ou freinée par le climat, par la perméabilité du sol et par le type d'humus formé, va créer dans le sol des couches plus ou moins distinctes et définir les horizons, qui constituent le profil pédologique d'un sol.

(La pédologie est la science qui étudie les caractères physiques, chimiques et biologiques des sols). On rencontre deux grands types de sols : les sols jeunes ou "peu évolués", peu profonds et peu différenciés de la roche mère, souvent constitués d'un seul horizon et les sols "évolués", profonds, caractérisés par une succession d'horizons lessivés et enrichis.

Mais la genèse d'un sol reste principalement tributaire de la nature de la roche mère, du climat, de la végétation et de la topographie.

III. 6 -Rôle de chaque constituant

III.6-1 Les grains

Dans un ensemble de grains, les efforts se distribuent d'une manière bien particulière. Par contact et frottement, les contraintes sont réparties dans la matière par un réseau de « Chaînes de forces » qui ont tendance à répartir les efforts verticaux sur les côtés. Ces chaînes de contacts solides sont bâties à l'image des voûtes. Ces « effets de voûtes » ont des conséquences néfastes dans de nombreuses applications industrielles. Dans l'industrie agroalimentaire par exemple, les grains sont souvent stockés dans des réservoirs, les silos, constitués d'une partie supérieure cylindrique et d'une partie inférieure convergente. Lors de la vidange de ce réservoir, il se forme parfois une voûte au niveau de l'orifice, qui bloque totalement l'écoulement. Dans le domaine de la construction, les effets de voûtes peuvent créer de petits espaces au sein de la matière protégés par un ensemble de grains en contact qui empêchent l'empilement de se placer

dans sa configuration la plus compacte. Avec des grains arrondis, les voûtes sont plus instables et la matière se comprime plus facilement. D'autre part, la dispersion des efforts sur les côtés oblige à utiliser des coffrages résistants, que ce soit dans le cas du pisé ou du béton. Dans d'autres cas, la distribution des forces au sein d'un édifice granulaire peut être mise à profit de manière très efficace : depuis 200 ans, les performances des ballasts des chemins de fer, simplement constitués de granulats, restent inégalées. : Naturellement les plus gros grains se retrouvent généralement à la base du tas (sur la circonférence) et les grains fins restent au sommet (au centre du tas) voir fig25. Ils ont la propriété unique d'être auto-adaptatifs : souples pour de faibles charges, rigides pour les charges les plus importantes.

Au sein de la matière en grains se constitue un réseau de contacts qui génèrent les phénomènes de blocages. C'est par ce réseau que vont se propager et se distribuer les forces dans la matière. Un vide constituant toujours une zone de faiblesse, il est intéressant d'observer les empilements de grains qui permettent de remplir le maximum d'espace afin d'obtenir le matériau le plus dense possible et de présenter les modèles d'empilement les plus récents dont se servent aujourd'hui les chercheurs pour concevoir des bétons à hautes performances.⁹²



Figure 25 Ségrégation dans un tas de terre (source : grains de bâtisseurs) , publication craterre 2004



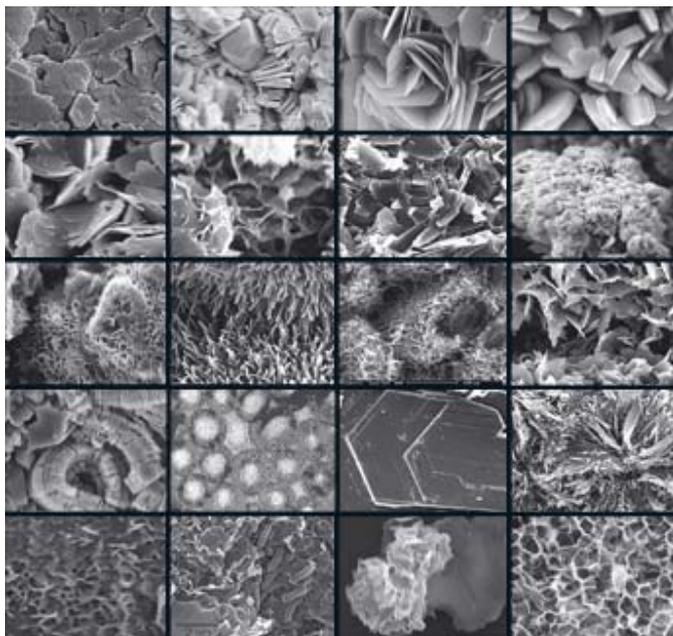
Figure 26 Arc de sable auto stable ; expérimentation de Hugo Houben. Grains d'Isère 2004) source : carterre

⁹² GRAINS DE BATISSEURS Romain Anger & Laetitia Fontain (publication craterre2004)

Dans un mur en terre, les grains sont de tailles très différentes : des cailloux jusqu'à des grains minuscules appelés silts (ou limons) en passant par les sables et les graviers : cette diversité de taille contribue à la compacité de l'empilement, elle-même directement liée à la résistance. Dans un mur en béton, on retrouve une relative hétérogénéité de taille avec les cailloux et les sables (que l'on complète parfois avec des grains plus fins comme la fumée de silice afin d'augmenter la compacité et la résistance).⁹³

III.6-2 Les Argiles

Les argiles sont des microparticules à faciès lamellaire. Ce sont des phyllosilicates hydratés (du grec phullon signifiant « qui a l'aspect de feuille »). Leurs spécificités de taille et de forme les différencient des autres grains, leur conférant en particulier des propriétés de cohésion et de plasticité très importantes. Il est courant de considérer la terre comme un béton dont l'argile serait le liant. En réalité, si on observe la matière de plus près, on découvre que l'eau est le véritable liant de la terre. Les argiles sont juste des grains dont la taille et la forme particulières permettent aux forces capillaires d'être beaucoup plus importantes.



Bref aperçu du vaste monde des argiles → De gauche à droite et de haut en bas : 1. Kaolinite, 2. Kaolinite (©Hydrasa CNRS UMR 6532), 3. Kaolinite (©Liewig, Karcher, CGC CNRS UMR 7517), 4. Chlorite-Fe, 5. Chlorite-Mg, 6. Corrensite, 7. Dickite, 8. Gibbsite, 9. Glauconite, 10. Halloysite, 11. Illite fibreuse, 12. Illite, 13. Kaolinite vermiculaire, 14. Chrysotile (©Baronnet), 15. Nacrite, 16. Sepiolite, 17. Tosudite, 18. Smectite (©Dong, www.biogeosciences.org), 19. Diagenèse d'une Smectite en Illite (©Dong, www.biogeosciences.org), 20. Smectites (©Van Damme).

Figure 27 vues au microscope des différents argiles. (source : gains d'isere, craterre)

Les argiles, observées au microscope électronique (photo 2.a), apparaissent sous une pluralité de formes et de structures à l'échelle microscopique, auxquelles correspondent à notre

⁹³ Romain anger, Architectures de terre et diversité des matériaux granulaires, doctorat INSA de Lyon / ENSAG

échelle des propriétés macroscopiques différentes. Pourtant, au sein de ce vaste monde des argiles existe un élément commun : le feuillet.

Les argiles sont en effet toutes constituées de feuillets d'épaisseur nanométrique. Elles appartiennent ainsi à la famille des phyllosilicates (du grec phullon, qui a l'aspect de feuille). Sur la photo 2.b, les chlorites apparaissent comme des sortes de grains plats hexagonaux. Ces plaquettes microscopiques sont constituées d'un empilement de feuillets, un peu à la manière d'un livre (schéma 2.c).⁹⁴

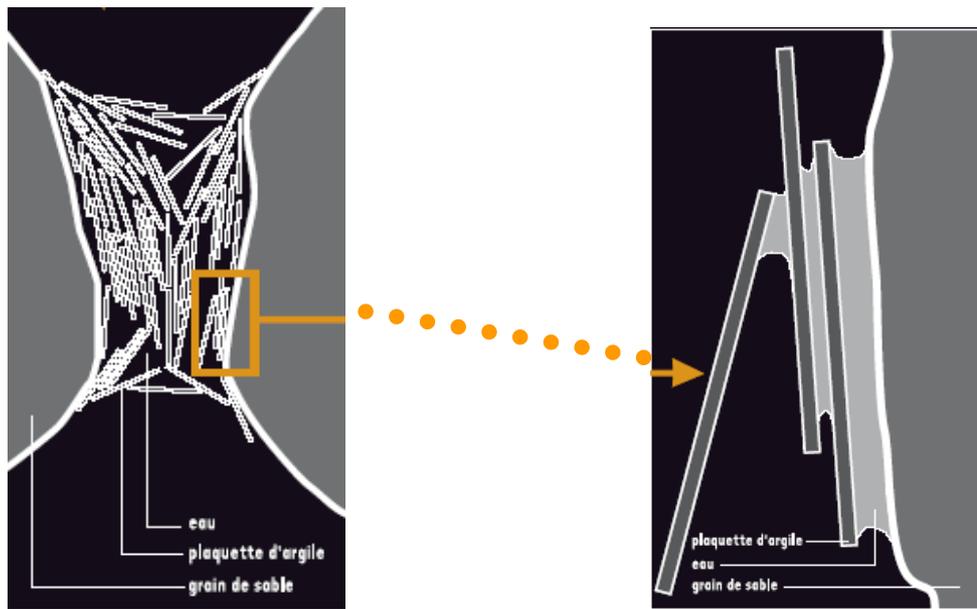


Figure 28 Schéma du pont argileux liant des grains de sable (source : grain d'Isère. craterre)

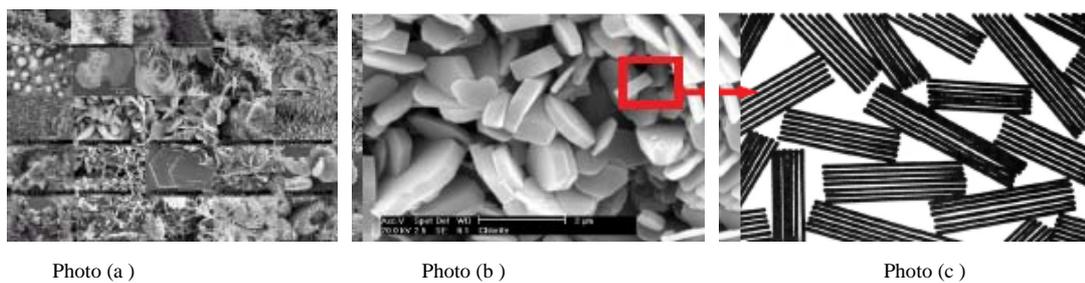


Figure 29 © Van Damme. (Source : doctorat Romain Anger. INSA de Lyon / ENSAG)

Photo 29.a : Bref aperçu de la diversité microstructurale du monde des argiles.

Photo 29.b : Chlorites ferriques © The Mineralogical Society.

Photo 29.c : Empilement des feuillets dans des plaquettes d'argile

⁹⁴ ibid

On dénombre un très grand nombre d'espèces d'argile mais les trois types les plus couramment rencontrés sont la kaolinite, l'illite et la montmorillonite. Dans le cas de la kaolinite, le feuillet élémentaire est dit octaédrique.

*La plasticité d'une kaolinite tient au fait qu'individuellement les particules sont entourées par une pellicule d'eau qui, lorsque son épaisseur est suffisante, leur permet de glisser les unes sur les autres, tout en gardant une liaison entre eux. La surface spécifique est de l'ordre de 10 à 20 m²/g, sans surface spécifique interne.

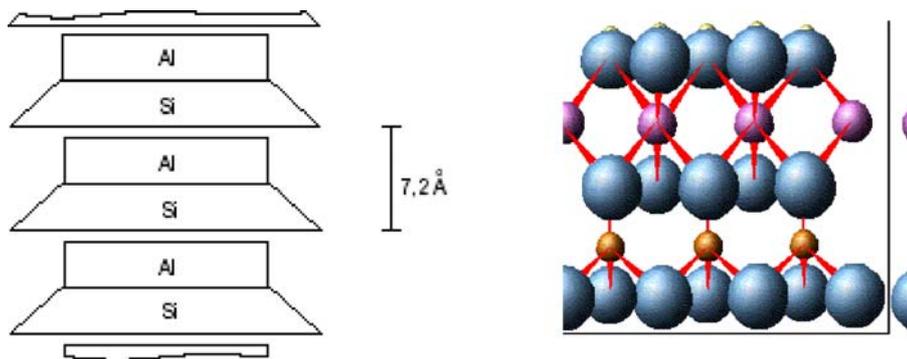


Figure 30 : Schéma de la particule de kaolinite, feuillet (source: DPEA 2002-2004 Laetitia FONTAINE)

III-7 La Texture

La texture d'un sol désigne la forme, la dimension et l'arrangement des particules minérales du sol, comme la formation d'agrégats par exemple. Elle détermine notamment la répartition dans l'espace des éléments solides et des pores (occupés par l'eau ou l'air). La texture de la terre présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu.⁹⁵

Du fait de la large gamme de particules qui composent le sol en terme de taille et de forme et de leur organisation spatiale, on trouve dans les sols des pores allant du nanomètre au millimètre, c'est à dire s'étalant sur plus de 6 ordres de grandeurs, même si les pores sont en réalité tortueux et interconnectés.

⁹⁵ Laetitia FONTAINE, Cohésions et comportement mécanique de la terre comme matériau de construction, mémoire DPEA 2002-2004. P9

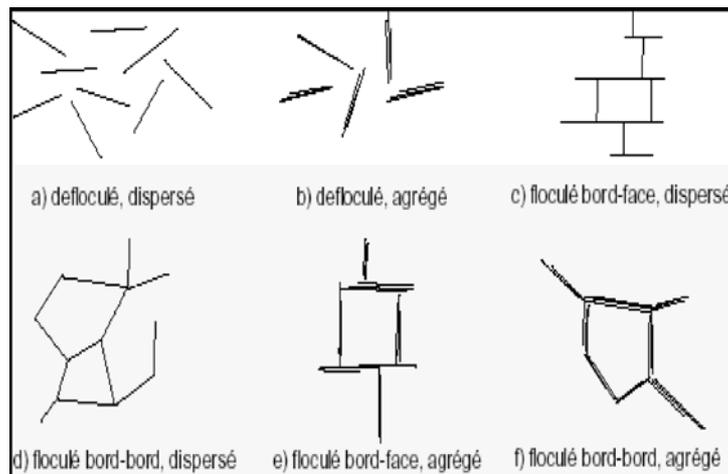


Figure 31 : Arrangement des particules d'argile (source: DPEA 2002-2004 Laetitia FONTAINE)

III.8- Cohésion Capillaire

Il n'est pas impossible de réaliser un château de sable avec du sable sec : ce dernier ne présente quasiment aucune cohésion, il faut ajouter de l'eau. L'eau confère son énergie de cohésion au sable et permet, à partir d'un ensemble divisé, d'obtenir un matériau cohésif. Il existe un optimum de teneur en eau pour lequel le sable mouillé est particulièrement cohésif. Dès qu'il est trop mouillé, il perd sa cohésion. Ceci est lié à la formation de ponts liquides entre les grains.

Dans un premier régime, la cohésion augmente avec l'humidité relative, pour atteindre un optimum. Au-delà, lorsque la présence de film liquide devient visible, la cohésion s'écroule rapidement pour finalement s'annuler lorsque le sable est saturé, c'est-à-dire lorsque tout l'espace poreux est rempli d'eau.⁹⁶

La cohésion capillaire n'est pas le seul fruit de l'interaction entre les grains et l'eau. Celle-ci entretient d'autres rapports avec la matière. Ainsi, lorsqu'elle est en mouvement, elle modèle la surface d'un milieu granulaire de différentes façons. Son écoulement crée des reliefs d'érosion, phénomène que l'on retrouve dans nos petits bacs de sable aussi bien qu'à l'échelle de nos paysages ou d'un mur en pisé exposé à la pluie, sur lequel les particules les plus fines se retrouvent arrachées de leur substrat pour ne laisser apparaître au fil du temps que les gros grains de matière. Un autre exemple est fourni par les rides de sable créées par le va-et-vient des vagues au bord de la plage.

Au-delà des interactions de surface, l'attention est portée sur l'eau contenue dans l'espace poreux, afin de revenir sur la notion de porosité et d'observer comment l'eau peut d'elle-même se déplacer par capillarité à l'intérieur d'un mur.

⁹⁶ **Romain Anger Et Laetitia Fontaine**, Grains de Bâtisseurs, la matière en grains de la géologie à la l'architecture, édition Cratère 2005

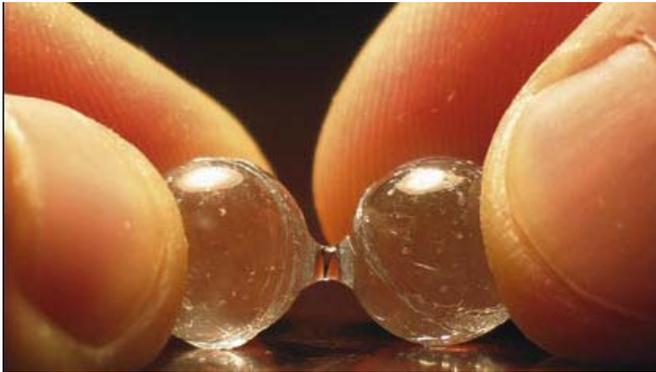


Figure 32 Pont capillaire entre deux grains. (Source : grain de bâtisseurs, craterre)

Dans le château de sable, l'eau colle les grains grâce à sa tension superficielle : elle est responsable de la cohésion du sable. Dans un mur en terre, le liant est l'argile. Mais cette argile est elle-même constituée de microscopiques particules à faciès lamellaire, sorte de grains plats reliés entre eux par de nanométriques ponts capillaires : le véritable liant de la terre est l'eau, comme dans un château de sable. Les argiles sont seulement des grains dont la taille et la forme permettent à l'eau de coller suffisamment pour construire un édifice de taille imposante.

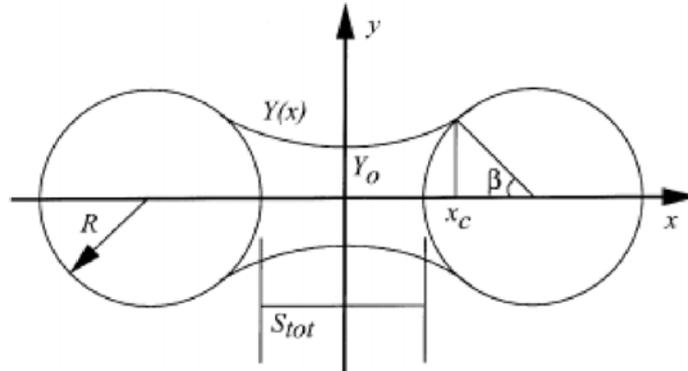


Figure 1 : schéma d'un pont capillaire (source : DPEA 2002-2004 Laetitia FONTAINE.)

La présence, au niveau des contacts entre grains, de surfaces rapprochées et rugueuses favorise fortement la condensation de la vapeur et conduit à la formation de ponts capillaires (ou ponts liquides) entre les grains, qui favorisent la cohésion.⁹⁷

En 1980, Sereda, Feldman et Ramachandran, au cours d'une expérience célèbre, montrent que s'il l'on broie une pâte de ciment durcie et que l'on compacte ensuite la poudre obtenue, on

⁹⁷ Laetitia FONTAINE, Cohésions et comportement mécanique de la terre comme matériau de construction, mémoire DPEA 2002-2004. P12

reformé un solide cohérent qui, à porosité égale, possède la même résistance que la pâte initiale.⁹⁸ La pâte de ciment durcie est donc une matière divisée, un peu à la manière de l'argile ! Sa cohésion est liée à un phénomène d'adhésion entre particules qui ne sont pas chimiquement liées ! Une pâte de ciment durcie est constituée principalement de grains de ciment non hydratés (qui n'ont pas réagi avec l'eau), qui ont une simple fonction de remplissage, et de particules qui ressemblent beaucoup aux argiles, résultant de la réaction chimique entre l'eau et le ciment, et appelés hydrates de ciment.⁹⁹

Les forces capillaires sont surtout actives entre grains de sable et entre grains de sable et agrégats.

III.9- GRANULOMETRIE

Pour faciliter leur identification, les composants minéraux ont été divisés en fractions granulaires qui sont situées entre des limites dont la définition est arbitraire.

III-9.1- Cailloux

Leur taille se situe entre 200 mm et 20 mm. Il s'agit d'un matériau grossier résultant de la désagrégation de la roche mère dont ils héritent des caractéristiques fondamentales. Ils peuvent être également issus d'un matériau d'apport. Les cailloux jeunes ont des formes angulaires. Les cailloux fortement désagrégés ont des formes arrondies ainsi que ceux qui ont été transportés par les cours d'eau et les glaciers.

III-9.2- Gravier

Leur taille se situe entre 20 mm et 2 mm. Ce sont des particules de matériau grossier, de petite taille, résultant de la désagrégation de la roche mère et des cailloux. Ils peuvent également avoir été apportés par les cours d'eau et présentent alors des formes rondes. Mais ils peuvent aussi être anguleux. Les graviers constituent le squelette de la terre et limitent sa capillarité et son retrait.

III.9-3- Sables

Leur taille se situe entre 2 mm et 0,006 mm. Ils sont souvent composés de particules de silices ou de quartz. Certains sables de plage contiennent du carbonate de calcium (fragments de coquillages). Les sables glaciaires contiennent des minéraux rocheux pulvérisés. La fraction sableuse d'un sol est caractérisée par sa grande friction interne. Les particules sableuses manquent de cohésion du fait de la faible influence des films d'eau au voisinage de leur surface

⁹⁸ **Romain Anger**, doctorat, Architectures de terre et diversité des matériaux granulaires INSA de Lyon / ENSAG

⁹⁹ ibid

dont l'absorption très réduite limite le gonflement et le retrait. Les sables sont caractérisés par leur structure ouverte et leur perméabilité.

III-9.4- Silts

La taille des particules de silt se situe entre 0,06 mm et 0,002 mm ($2\mu\text{m}$). Du point de vue physique et chimique, la fraction silteuse est presque identique à la fraction sableuse avec pour seule différence l'écart de taille. La contribution du silt à la stabilité de la terre est due à sa friction interne. Les films d'eau inter particules confèrent un certain degré de cohésion aux terres silteuses. Du fait de leur perméabilité élevée, les terres silteuses sont très sensibles au gel. Le gonflement et le retrait sont notoires à petite échelle.

NOTE : Le terme "silt" est réservé à la fraction granulaire, tandis que le terme "limon" détermine une famille de terre spécifique.

III-9. 5- Argiles

La taille des particules d'argile est inférieure à 0,002 mm ($2\mu\text{m}$). Les particules d'argile diffèrent de celles des autres fractions de la terre par leur constitution chimique et leurs propriétés physiques. Chimiquement, ce sont des aluminosilicates hydratés formés au cours du processus de lessivage des particules grossières de minéraux rocheux primaires. Physiquement, les argiles sont très souvent de forme plate et allongée, lamellaire. Leur surface spécifique est infiniment plus grande que celle des particules grossières de forme sphérique ou anguleuse. Les argiles sont notoirement sujettes au gonflement et au retrait.

III-9. 6- Colloïdes

Les éléments sablonneux sont souvent enrobés dans une sorte de pâte collante qui les réunit en agrégats. Cette pâte collante est constituée de "colloïdes", dont les dimensions sont inférieures à $2\mu\text{m}$. Parmi ceux-ci, certains proviennent de l'altération de la roche mère. Ce sont les colloïdes minéraux, dont le principal est l'argile. L'argile n'est pas le seul colloïde minéral. Elle est souvent mélangée à des particules de quartz très fines (1 à $2\mu\text{m}$), à de la silice plus ou moins hydratée, à des cristaux de calcaire très fins et des colloïdes magnésiens et à des oxydes de fer et d'alumine colloïdaux appelés sesquioxides (sesqui signifie : un demi de plus. En effet, dans le Fe_2O_3 chaque Fe a un demi O de plus que dans FeO). D'autres colloïdes proviennent de la décomposition des matières organiques. Ce sont des colloïdes organiques : l'humus et les colles bactériennes.

III.10- Les Avantages De La Terre

La terre crue est certainement un des plus anciens matériaux de construction et certainement le plus ancien pour les maisons à plusieurs étages. La terre peut prendre des couleurs très variables du gris foncé au jaune éclatant suivant la quantité et le degré d'oxyde métallique et suivant la proportion de calcaire qu'elle contient.

Un des avantages de la terre est qu'on la trouve partout, par fois dans l'excavation même de sa propre maison. Si la composition de la terre n'est pas optimale, on devra la corriger quelque peu. Par exemple l'argile pure est trop grasse et aurait comme inconvénient un retrait important au séchage. Il faudra, dans ce cas diminuer la proportion d'argile pure en rajoutant du Sable, ou de la paille hachée (ou encore du roseau, du bois déchiqueté ou de la sciure,). Un peu de ciment dans le mélange permet de stabiliser la masse finale, et de l'aider à durcir. Une terre plutôt maigre et caillouteuse devra être enrichie avec de l'argile pure.

III.10-1 Avantages pour l'environnement

- La terre non cuite ne contribue pas à la déforestation grâce à l'utilisation de ressources biologiques pour la cuisson des matériaux.
- Elle ne consomme aucune énergie non renouvelable comme le pétrole et le gaz, que ce soit au traitement et à la fabrication d'origine des matériaux; ou dans l'application, contrairement à la fabrication du ciment, de la chaux et d'autres matériaux liants conventionnels.
- L'exploitation de la strate à même les chantiers permet une économie d'énergie énorme de transport de matériaux. Cela ne contribue pas à la dégradation du paysage, contrairement à l'extraction de minéraux et de minerais qui creuse collines et sites à ciel ouvert. Une grande quantité de terre extraite au cours de grands travaux d'utilité publique, comme les routes, peut être recyclée et utilisée pour la construction (ce qui permet une distribution décentralisée très facile).
- La terre ne contribue pas à la réduction de ressources en agrégat, tels les graviers et le sable qui sont extraits de carrières ou de cours d'eau dans des sites insulaires ou des lagons, mettant ainsi en péril la balance écologique de ces environnements naturels.
- La terre n'utilise que très peu d'eau, ressource essentielle pour la vie des populations.
- La terre ne produit aucun déchet industriel ou chimique et a en plus l'avantage d'être presque entièrement recyclable.

- Non seulement l'utilisation de la terre non cuite ne pollue pas, mais elle garantit aussi l'absence d'effets nocifs dans le cadre de la vie quotidienne, tels l'absence d'émissions gazeuses et d'autres produits chimiques toxiques, émissions radioactives etc.
- La texture de la surface, la couleur, la forme et la luminosité de la terre non cuite en fait un matériau attrayant pour bâtir sans détruire l'environnement naturel.

III.10.2 Avantages économiques

- La terre non cuite est souvent comparable en prix, et même plus économique, que les technologies concurrentielles. Elle ne nécessite aucun coût majeur de transport grâce à sa légère infrastructure de fabrication.
- Elle ne nécessite qu'un mode de fabrication simple et des outils qui sont accessibles à un large groupe de maçons et de bâtisseurs individuels.
- Elle appartient à l'héritage architectural traditionnel de nombreux pays tout en utilisant des matériaux locaux, et permet aux populations de prendre en charge la production de leur environnement et de contrôler leur habitat.

III.11 les propriétés des constructions en terre crue :

En plus de ses qualités de régulateur hygrothermique et d'isolation thermique, la construction en terre comporte bien d'autres qualités.

III.11.1 la résistance mécanique :

la terre résiste bien à la compression mais ne résiste pas à la traction, spécialement à l'état humide. Quand elle est utilisée pour les éléments porteurs, les forces doivent être cheminées dans la masse des éléments, ce qui explique leur épaisseur. Cependant, avec plus de précaution au moment du séchage des produits en terre, il est possible de réaliser des murs plus minces avec des arcs et des voûtes. Les produits en terre peuvent donner des résistances à la compression allant de 20 à 50 bars (selon le procédé de construction) ce qui offre une grande marge de sécurité.¹⁰⁰

D'après les essais réalisés à ENTPE, un mur de Béton de terre comprimée, maçonné en mortier de terre voit apparaître ses premières fissures autour de 0.55 Mpa (sans stabilisant) à 0.9 MPa (bloc et maçonnerie, stabilisée).¹⁰¹

L'effondrement du muret intervient avec une contrainte de compression beaucoup plus importante (de 1Mpa à 3Mpa). Pourtant aussi bien les Briques que le mortier initial ont des

¹⁰⁰ H. Houben & Guillaut, Traité de construction en terre . Ed parenthese, 1989 p 146

¹⁰¹ www.lamaisondurable.com consulté aout2008

résistances à la compression bien supérieur à ces valeurs : La faiblesse provient des interfaces, rien ne sert d'avoir de la BTC¹⁰² trop performante en résistance avec un mortier de terre.

Cependant précisons que pour une construction classique la descente de charge liée au poids des murs est bien inférieure à ces valeurs. Une toiture à charge bien répartie peut être reprise sans problème par un mur BTc maçonné en mortier de terre.

C'est surtout en flexion que le matériau possède ses limites. Il conviendra de proscrire tout risque de flexion dans le mur:

- éviter les charges ponctuelles (poutre maîtresse de toiture s'appuyant ponctuellement.
- épaisseur minimale des murs pour éviter les risques de flambement.
- fondation solides pour éviter les risques de tassement différentiel.

Un matériau à base d'argile de type Kaolinite a une résistance mécanique faible (inférieur à 1 Mpa). La résistance mécanique augmente régulièrement avec l'augmentation du pourcentage de ciment: 2% (difficile à réaliser de façon homogène sur chantier) plus généralement de 4 à 10 % de ciment.¹⁰³

Il n'en est pas de même pour un matériau constitué d'argile active. En revanche l'effet du ciment sur la résistance est beaucoup plus important avec un effort de compactage important. Dans certains cas, malgré l'apport du ciment, une presse manuelle développera un effort insuffisant pour valoriser le ciment en terme de résistance mécanique. Le ciment aura pour effet de seulement diminuer la sensibilité à l'eau et au gel du matériau. Dans ce cas de figure, les presses hydrauliques prennent tout leur sens.

Le graphique suivant représente le fuseau granulométrique des terres constructibles.

- Il se subdivise en deux fuseaux:
 - un à compacter : pisé, BTC
 - un autre à mouler (ou modeler): adobe, cob, bauge, torchis
- Les limites sont évidemment indicatives:
- "sortir du fuseau" conduit à un matériau non idéal qui peut tout de même être constructible.

¹⁰² DSA 2006-2008, BTC : brique de terre comprimée, Craterre Grenoble

¹⁰³ www.lamaisondurable.com

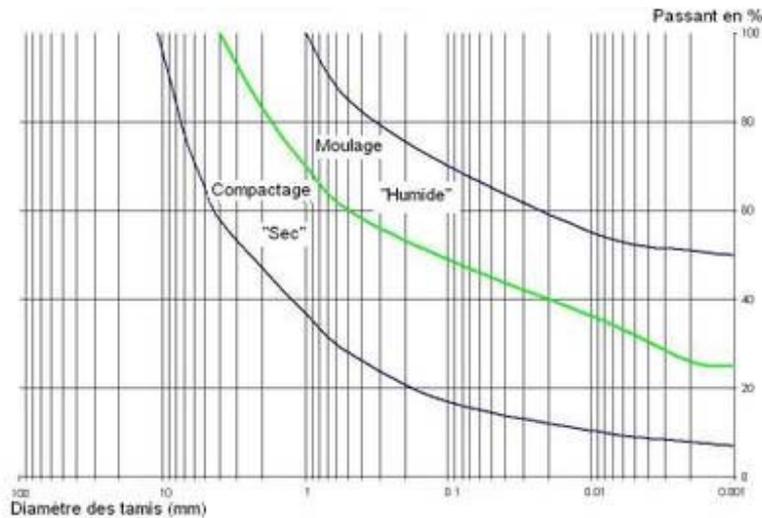


Figure 34 fuseau granulométrique des terres constructibles. (Source www.lamaisondurable.com)

De même, on peut toujours compacter des terres très argileuses (30 % et plus) mais il faudra beaucoup d'eau. Le moulage est sans nul doute plus adapté.

III.11.2 résistances au feu :

Les matériaux sont classés en quatre catégories selon leurs résistance au feu, les matériaux avec une excellente résistance au feu, et ceux avec une bonne, puis ceux moyenne et faible résistance au feu. La terre est un matériau incombustible qui procure aux constructions une bonne résistance au feu.¹⁰⁴ Un mur en pisé de terre de 300mm épais, a été examiné à par un essai de résistance au feu suivant les normes australienne AS150.4 – 1985, a donné un résultat de :

4 heures / 4 heures / 4 heures pour : adéquation / intégrité / isolation structurales, ce qui est considéré comme une résistance élevée au feu.¹⁰⁵

III.11.3 L'isolation acoustique :

La surface inégale du mur de terre a une réflexion saine ce qui est plus facile sur l'oreille humaine.

En plus, les murs de terre peuvent très efficacement bloquer la transmission de bruit due à leur densité et leur épaisseur.

En Australie une terre en pisé de 300mm d'épaisseur a été examiné en termes de transfert acoustique, suivant les normes 'Australien 1276-1979 et a donné une classe de transmission saine

¹⁰⁴ N. Kebaili , Mémoire de magistère , L'architecture en terre contemporaine en algerie, évaluation post-occupation année 2006 P25

¹⁰⁵ Stephen Dobson, Continuity of Tradition: New Earth Building, Terra 2000

de 57 ce qui est en effet un accomplissement élevé pour n'importe quel matériau de bâtiment. C'est une perte de 57 décibels d'énergie bruit, arrêtee de passer par le mur.¹⁰⁶

III.11.4 Autres qualités et propriétés de la terre :

2-La protection contre les nuisances lies aux ondes électromagnétiques générées par les appareils et circuits électriques.

3. L'absence d'électricité statique ; ce qui évite l'accrochage des poussières sur les parois et sur les ustensiles domestiques.
4. La bonne diffusion de la température et de l'humidité ce qui évite la condensation favorable au développement fongique.
5. La grande richesse poly chromatique : du gris foncé au jaune éclatant en passant par diverses nuances de rose et de rouge.

III.11.5 La durabilité :

La terre peut bien être aussi durable que le béton, ce qu'affirment les ruines archéologiques datant depuis l'antiquité, faite en majorité de terre crue ex : la muraille de chine, l'Égypte.

Antique... etc. (voir figure .24)

III.12 Faisabilité Du Matériau Terre :

Le patrimoine mondial en terre crue a permis de dénombrer une multitude de techniques constructives répandues à travers le monde.

Ces techniques nées du génie de l'homme, prennent leur essence de l'identité et des cultures des lieux, et des types de terre.

“ L'homme construit en terre crue depuis qu'il a pu élevé sa demeure.....associée aux temps décisifs de la naissance des premières agglomérations humaines.”

(Jean DETHIER)

La terre, matière disponible sur l'ensemble du globe est constituée d'un mélange naturel d'agrégats. Des grains de taille, de forme et de couleurs différentes que la nature nous offres en désagrégant les roches. La terre contient naturellement de l'eau et de l'air, deux composants qui en s'ajoutant aux grains donnent naissance à un matériau de construction que l'homme a su maîtriser pour bâtir des villes.

¹⁰⁶ ibid

Diagramme des usages de la terre crue



Figure 35 les procédés de production de la terre crue ,source (Craterre)

III.12.1 -Les Différents Usages De La Terre Dans La Construction ;

La terre peut être utilisée sous plusieurs formes et procédés différents on trouve :

III.12.1.1- terre creusée : c'est l'habitat troglodytique, ou il est creusé dans la terre horizontalement ou verticalement, cas du site de Matmatas en Tunisie et habitat de la ceinture loesse en Chine.

III.12.1.2- terre couvrante : c'est le cas où la matière terre recouvre une structure, le plus souvent en bois. Son avantage permet de profiter de l'isolation de la terre, elle améliore l'isolation thermique qu'acoustique.

III.12.1.3- LA terre remplissante : la terre est utilisée en remplissage de matériaux creux : blocs de béton, matériaux textiles empilés, éléments isolants, qui constituent l'enveloppe porteuse ou non du bâtiment.

III.12.1.4- la terre découpée : des blocs de terre ; des mottes herbeuses sont découpées directement à l'aide d'un outillage adéquat, puis mise en œuvre aussitôt extraites. Cette technique fut utilisée par les colons américains. Elle est connue sous l'appellation de **TURF** ou

de SOD (en Angleterre, Irlande) et de TERRON en (Amérique latine). Elle présente un inconvénient lie au tassement des murs.

III.12.1.5- La Terre Comprimée :

la terre est comprimée dans des moules ou dans des banches, a l'aide de presse, c'est la technique qui a été la plus adaptée par les techniciens et les scientifiques, c'est l'invention en 1953 , de la presse manuelle CINVA-RAM par l'ingénieur Raoul Ramirez qui a marqué le regain d'intérêt pour la construction bloc de terre comprimée qui peut être stabilisée ou non¹⁰⁷.

III.12.1.6- la terre façonnée :

la terre est directement façonnée à la main, en parois minces. Son utilisation est connue dans les pays du sahel, en Afrique et dans les régions équatoriales.

III.12.1.7- la terre empilée :

la terre est façonnée a l'état de la pâte a laquelle on ajoute un dégraissant (paille ou balle de grains) puis elle est pétrie pour former des boules qui seront empilées pour constituer des murs porteurs épais en couches.

III.12.2 Les techniques et les procédés de constructions :

La technique de construction en terre est actuellement sure pour concurrencer les matériaux conventionnels. Héritière d'une tradition populaire, elle possède les avantages d'une technologie simple. Demandant peu d'investissement en matériel, elle est adaptable.

Pour notre cas on va se limiter aux procédés les plus répandus sur le bassin méditerranéen. Tel la brique de terre dite l'adobe, le pisé, la bauge, le torchis.

On général ont distingué deux types de techniques ; massives et légères. Les techniques massives sont caractérisés par leur mise en œuvre nécessitant des outils et moyens plus au moins importants. Une des caractéristiques de la construction en terre est la grande variété de ses mises en œuvre.

Plusieurs techniques de constructions sont répandues à travers le monde, elles varient suivant le lieu et ses contraintes, cultures ...etc. Parmi ces techniques les plus connues on retrouve :

¹⁰⁷ H Guillaud T Joffroy P Odul (blocs de terre comprimés manuel) P57

III.12.2.1 **-LE PISE :**

Connu aussi sous le nom de « rammed earth », on le retrouve en Europe, en Afrique du Nord, en Amérique latine et même en Chine.

Le pisé est un procédé de mise en œuvre de la terre qui a été et reste employé dans le monde entier (Maroc, France, Danemark, ...), au début, on construit un coffrage que l'on remplit de terre argileuse humide qui est damée par des pieds des ouvriers, couches après couche¹⁰⁸. Le coffrage monte en glissant le long du mur, au fur et à mesure que monte le mur. On obtient un mur épais et massif, sans joint, actuellement, cette technique est modernisée, notamment par un drainage mécanique et par la réalisation de lits successifs plus épais.

La terre qui convient à la production du pisé doit être graveleuse à limoneuse. Il est par conséquent fréquent de devoir cribler la terre à pisé par épierrement manuel des gros cailloux ou par tamisage à travers de tamis statiques, maintenus en position horizontale ou oblique, dont la maille correspond à l'écrêtement souhaité de la terre.

Dans le cas d'un pisé stabilisé une terre trop argileuse agglomérée en mottes dures qui doit être ajoutée d'une fraction sableuse, on doit la pulvériser. La pulvérisation permet d'obtenir un assez bon pré mélange.

Pour la construction d'un pisé l'utilisation d'outils convenables qui permet la mise en œuvre parfaite s'avère indispensable, de l'outils manuel à l'outils mécanique (dans le temps les maçons tassèrent au moyen de leurs pieds et piseirs manuels fait de pierre et de bois...) Actuellement la mise en œuvre est assurée par des vibreurs pneumatiques , coffrages vibrant etc.... Un pisé bien fait ils ne forment qu'une seule pièce et lorsqu'ils sont revêtus à l'extérieur d'un bon enduit ils peuvent durer des siècles.¹⁰⁹

La production d'un bon pisé dépend essentiellement d'une homogénéisation de la terre, que l'on obtient par malaxage en humidifiant légèrement la terre.

La stabilisation, si elle est nécessaire, consiste dans le rajout d'une matière stabilisante (ciment, chaux, etc). L'engin plus adéquat est le malaxeur à béton, mais le motoculteur donne également un bon résultat dans la plupart des cas.

¹⁰⁸ L'habitat écologique quel matériau choisir ? FRIEDRICK KUR p141

¹⁰⁹ Construire en terre par cratère P. Doat – A. Hays – H. Houben – S Matuck – F vitoux p 14



Figure 36 Coffrage métallique et moyens de compactages (source: craterre)

Les pratiques du pisé restent très vivantes dans le monde et les traditions intègrent les visages de la modernité en associant au pisé des matériaux et des éléments architecturaux contemporains.

Plusieurs projets réalisés à travers le monde notamment en France , Allemagne et Etats unis d'Amérique ont affirmés un véritable mouvement contemporain d'architecture de terre en pisé. Ce sont dans la plupart des cas des logements et autres équipements publics de proximité, conçus par de grands architectes tel que : Martin Rauch, David Easton, Stephen Dobson et David Oliver. Le plus souvent ces architectes mettent volontairement les qualités esthétiques de la terre et la matière brute du pisé qui est traité avec un grand souci de qualité esthétique visuelle.

Des recherches sur la beauté de la matière, ses textures, ses couleurs sur les formes (système de piliers, arrondies) contribuent à une nouvelle valorisation du procédé en pisé. Les techniques en pisé ont beaucoup évolués et devient compétitifs aux autres techniques actuelles.

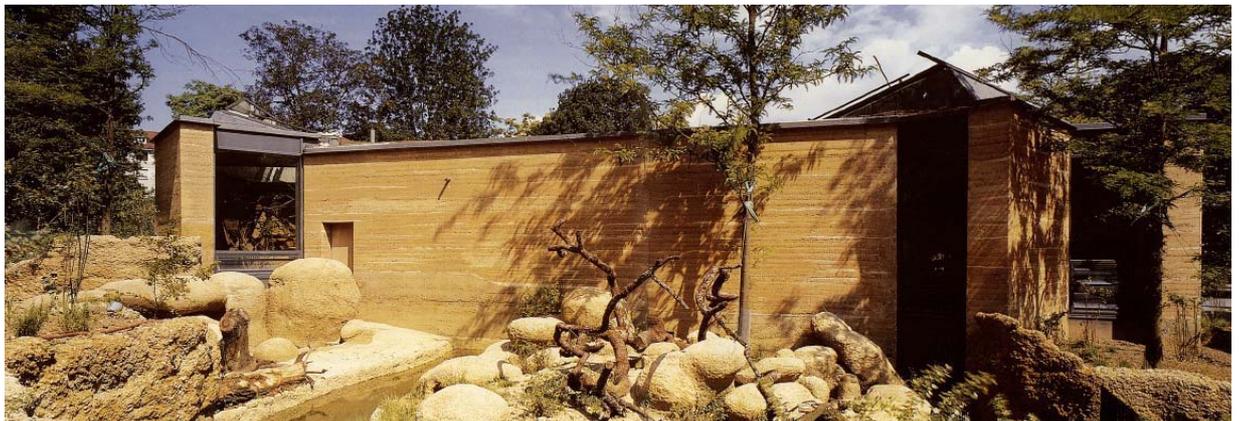


Figure 2 villa privée en Allemagne par : MARTIN RAUCH (source : craterre)



Figure 38 : Bureaux en Hollande meridionale par: tierrafino Carl Giskes (sources : craterre)

. III.12.2.2 **LA BAUGE :**

La bauge est un système constructif de terre empilée, C'est une technique qui consiste à modeler des formes directement sans coffrage, en utilisant la plasticité des sols humides.

c'est une technique de construction ancienne, répandue en Afrique, en Europe et au YEMEN.... Elle permet de réaliser des murs porteurs dans des régions où le sous-sol est pauvre en pierres.

LA terre ne sert pas à remplir une armature comme dans le cas du torchis, mais en la façonner directement comme une poterie.

Dans l'habitat écologique moderne, la bauge permet de donner une bonne inertie à une maison à ossature bois.

La qualité plastique du matériau est donc le facteur essentiel de la mise en œuvre. Il s'agit de trouver l'état de consistance intermédiaire entre un sol trop sec et une boue trop humide, manquant de Cohésion.

L'Afrique Noire le Yémen en sont des pays les plus réputés à avoir utilisé cette technique ancestrale et astucieuse, en trouvant des réalisations d'une sensibilité architecturale et une connaissance du matériau difficile à égaler.

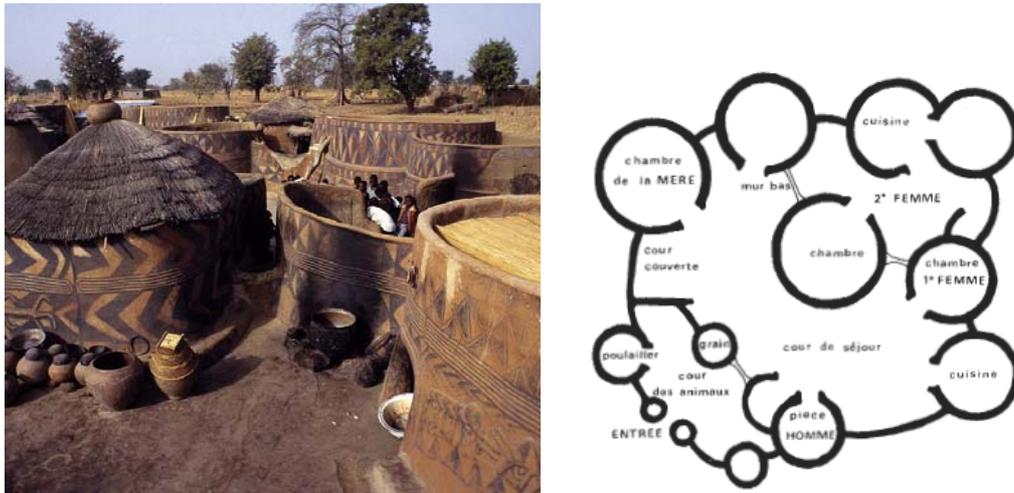


Figure 39 : un ensemble de cases, en Afrique, construites par le procédé "la bauge" ; flexibilité et facilité d'extensibilité qu'offre le procédé. (Source : caraterre)

Au Yémen les constructions en Bauge sont toutes construites en hauteurs et présente une allure élancée certaines comptent jusqu'à cinq étage¹¹⁰, il existe deux modes distinct de concrétisation de ces constructions.

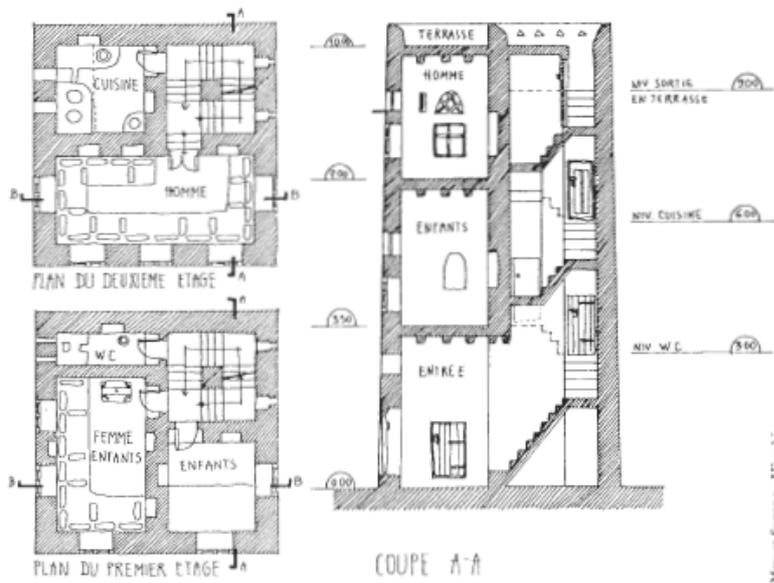


Figure 40 : plan d'une construction a étages au Yémen, (source : craterre)

III.12.2.3 L'ADOBE :

L'adobe est une technique de construction qui consiste à façonner à la main ou à produire à l'aide de moules des briques de terre, amendées de paille ou non, et à les laisser sécher au soleil

¹¹⁰ Construire en terre par craterre P. Doat – A. Hays – H. Houben – S Matuck – F vitoux p 14

avant de les utiliser pour appareiller des murs, arcs, voûtes ou coupoles, ou pour le remplissage de murs en pan de bois, en lieu et place du torchis. Le mode de séchage de ces briques leur vaut, par opposition aux briques de terre cuites au four, le nom de briques de terre crue.

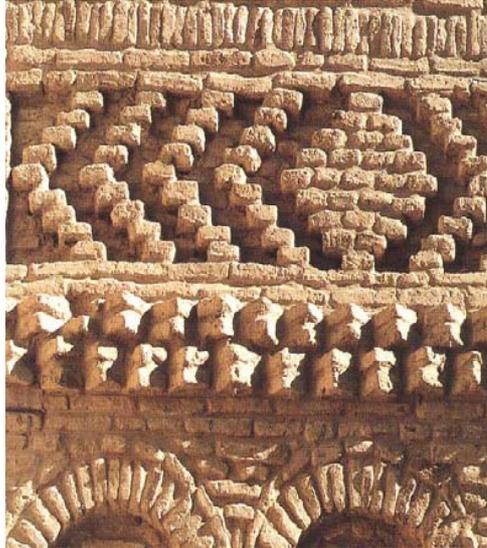


Figure 3 :Mur extérieur en adobe (terre crue) (source : craterre)

Le terme « adobe » serait originaire du vocable égyptien « thob » ou « thoub », devenu « al toub » en arabe. Assimilé sous la dénomination de « adobe » en Andalousie puis sur la péninsule ibérique, il persistera sous cette appellation en Amérique centrale et latine au-delà des périodes coloniales espagnoles et portugaises, de même qu'en Europe. En Afrique de l'ouest, cette technique de construction est plutôt connue sous le terme de « banco ».

La brique d'adobe est, l'un des matériaux de construction les plus vieux au monde. Sa forme actuelle, c'est-à-dire le parallélépipède moulé, à plan rectangulaire ou carré, est le résultat d'un long processus d'évolution typologique qui a vu la brique de terre crue déclinée sous différentes formes façonnées à la main : boules ou pains de terre, coniques, piriformes, hémisphériques, dentiformes ou à plan convexe.

Les plus anciennes briques parallélépipédiques moulées dateraient, quant à elles, du VI^{ème} millénaire av. J.C. Elles ont été découvertes sur le site de Çatal Höyük, en Anatolie.



Figure 42 : les plus anciennes briques découvertes. (Source carterre)

La construction en terre crue, notamment en adobe, connaît un renouveau depuis les années 60 et la redécouverte du bio climatisme en architecture. Ce type d'architecture est réapparu par exemple dans les régions du sud-ouest des USA (Californie, Arizona, Texas, Nouveau Mexique, Colorado) et en Australie.

La brique de terre crue reste, en Afrique, en Amérique latine et en Asie Centrale, un matériau de construction majeur, même si son image est souvent fortement dégradée. Pour une grande partie de la population mondiale, l'adobe, même produite de façon traditionnelle, demeure une technique constructive d'avenir.

III.12.2 .4 **LE BETON DE TERRE COMPRIMÉE** (BTC)

La technique de brique de terre comprimée offre aujourd'hui une alternative fiable pour une architecture accessible et de qualité, dont la reconnaissance scientifique, technique, social et culturelle n'a été qu'en progression depuis les années cinquante. Le BTC est un des rares matériaux modernes dont la flexibilité de production a permis son insertion dans les secteurs d'activités privés, formel et informels.

Le bloc de terre comprimé est une évolution moderne du bloc de terre moulée « adobe », La terre est comprimée, sous forme de bloc, dans un moule. Auparavant, la terre était compactée dans un moule à l'aide d'un petit pilon, ou en rabattant avec force un couvercle très lourd dans le moule. Aujourd'hui, on utilise des presses dont il existe une grande variété. Le bloc de terre comprimée peut éventuellement être stabilisé. Dans ce cas, on parle de « bloc de terre comprimée stabilisée ». Stabiliser la terre, c'est modifier les propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière.

La résistance mécanique d'un BTC résulte du compactage des grains, qui varie selon la texture et la structure (granulométrie) de la terre utilisée. La compression permet de diminuer la porosité du bloc de terre, d'éliminer les vides, qui sont autant de canaux à la pénétration de

L'eau. La compression a donc un effet de stabilisation de la terre. Cette amélioration de la densité s'obtient en comprimant la terre avec une presse.

Les avantages des blocs de terre comprimée sont :

- performances techniques.
- Flexibilité d'emploi.
- Standardisation et modèles.
- Technologie très pratique.
- Réel intérêt architectural.

Mais le BTC reste tributaire d'une sélection et préparation des terres. Son utilisation doit répondre à des règles de conceptions, et de mise en œuvre très spécifiques, qui nécessitent une formation adaptée. Au niveau économique le BTC peut ne pas concurrencer les autres matériaux locaux, une étude technico-économique permet de déterminer sa faisabilité dans chaque contexte d'application.¹¹¹

		LES 8 TYPES DE BTC		LES 8 TYPES DE MOULES	
		PLEIN	PERFORÉ	PLEIN	PERFORÉ
RECTANGULAIRE	SIMPLE				
	A RELIEF HORIZONTAL				
	A RELIEF HORIZONTAL ET VERTICAL				
NON RECTANGULAIRE					

Figure 43 types de bloc, de terre comprimée, et leurs moules

¹¹¹ vincent rigassi Bloc De Terre Comprimée .V 1 , CraterreEAG ED VIEWEG 1995 P10

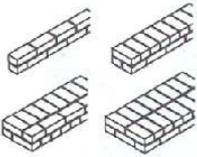
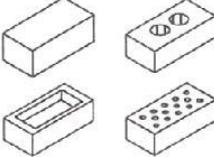
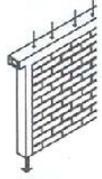
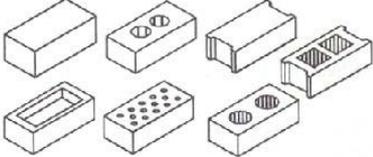
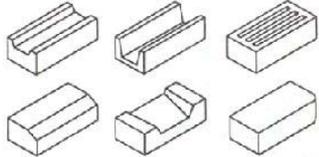
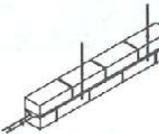
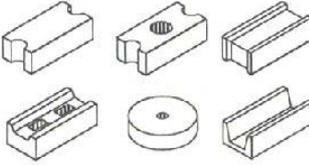
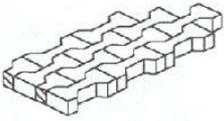
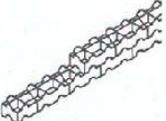
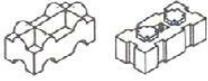
	TYPE DE TRAVAUX	TYPE DE BLOCS
<p>MAÇONNERIE PORTEUSE TRAVAUX COURANTS</p>		
<p>MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE</p>		
<p>TRAVAUX PARTICULIERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilation - Passage de câble - Chanfrein - Décoration - Arcs et voûtes appareillés - Chaînage 	
<p>MAÇONNERIE ARMEE</p>		
<p>SYSTEME CONSTRUCTIF PARTICULIER pose par juxtaposition</p>		
<p>SYSTEME CONSTRUCTIF PARTICULIER pose à sec pose par emboîtement</p>		

Figure 44 CHAMPS D'UTILISATION DU BTC, SOURCE (craterre)

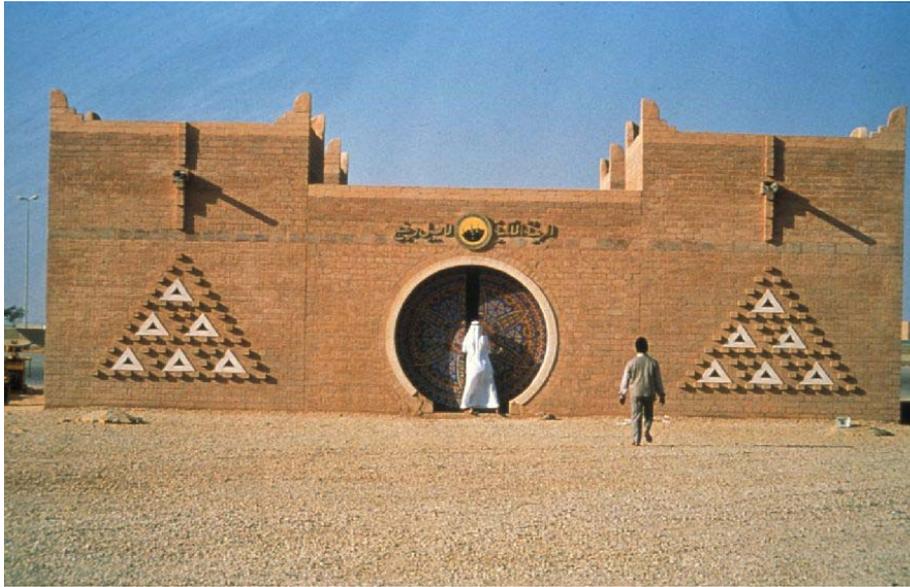


Figure 45 construction en Arabie saoudite, en BTC (source craterre)

III.12.2.4 ENDUITS EN TERRE

La terre est composée de différents éléments. Chacun de ces éléments se distingue par des caractéristiques propres dont la grandeur est exprimée par le diamètre : c'est la granulométrie. Pour la terre à pisé, celle-ci est très variée. C'est une terre graveleuse. Elle va des cailloux à l'argile. Selon l'usage de cette terre à pisé, ces éléments entreront ou non dans la liste des ingrédients pour le mélange.

Pour les classer, on procède au tamisage. C'est l'étape essentielle pour transformer un tas de terre en construction de terre et notamment en mortier de pose et en enduit.

Le mortier de pose sert à coller les briques entre elles et garantit la bonne résistance du mur.

Pourquoi enduit-on ? La principale raison est esthétique et démonstrative. On enduit très souvent le mur de façade principale. A l'intérieur, les enduits améliorent le confort de la maison en terre mais aussi des constructions avec d'autres matériaux. Ils jouent également un rôle technique. Les enduits sont utilisés pour restaurer, réparer et cacher les défauts de construction (fissures, nivellement, etc.). Les enduits en général sont les bases de toutes les décorations (par ex. carrelage, peinture, relief, incrustation).

Il existe donc différents types d'enduits que nous développerons dans la partie suivante. Lorsque l'enduit uniformise un mur, on parlera d'enduit de base. Par exemple, un mur fait de

plusieurs matériaux sera revêtu d'un enduit de base. Lorsque l'enduit décore la façade par sa texture, sa couleur : c'est l'enduit de finition, de décoration.

Pour sélectionner les composants de la terre, le tamisage rejettera les cailloux et les graviers mais conservera les sables, les silts et les argiles de la terre à pisé. Ces différents composants ont une taille variable. Ces gros éléments ne sont pas admis dans le mélange car leur diamètre est trop grand. Ils ne colleraient pas au support, le travail d'application serait difficile et la surface ne serait pas plane.

Pour les enduits, il faut coordonner la dureté des différentes couches entre elles par la granulométrie et le dosage du mortier. Il existe trois grandes familles en fonction de la qualité du mortier : les enduits solides, peu durs et souples.

- Les enduits solides ont une surface très dure et résiste à l'abrasion. Le squelette des mortiers est bon et comporte des sables concassés. L'enduit de base contient des grains allant jusqu'à 4 mm contrairement à l'enduit de finition. L'enduit de base peut comporter quelques fissures mais pas l'enduit de finition.
- Les enduits peu durs sont fragiles. Le mortier contient surtout des sables fins et des silts et peu de sables arrondis et non concassés. Leur texture est sableuse. Ces enduits sont appréciés dans les endroits soumis aux mouvements comme les souppentes de toit.
- Les enduits souples contiennent des fibres et sont très argileux. Ils sont alors durs et élastiques.

Le tamisage varie donc selon la fonction du mortier dans la construction : mortier de pose ou à enduire.

Pour les enduits et les mortiers de pose, les grandeurs sont les suivantes

Les enduits :

Tableau 1 Enduits et mortiers de pose diamètres et épaisseurs

Enduits	Diamètres	Épaisseur
Gobetis	0- 0,8 à 0- 1,2 mm	2 à 4mm
Enduit de base	0-2 à 0- 4 mm	8à 15 mm
Enduit de finition	0-1 à 0- 2 mm	4 à 8 mm.
Enduit décoration	0- 0,8 à 0- 1,2 mm	2à 3mm
Les mortiers	0 à 2-3 mm	1-1,5 à 2 cm

1-Badigeon de chaux 2-enduit en terre 3- Enduit terre sablo-argileu et chaux 4- enduit en chaux

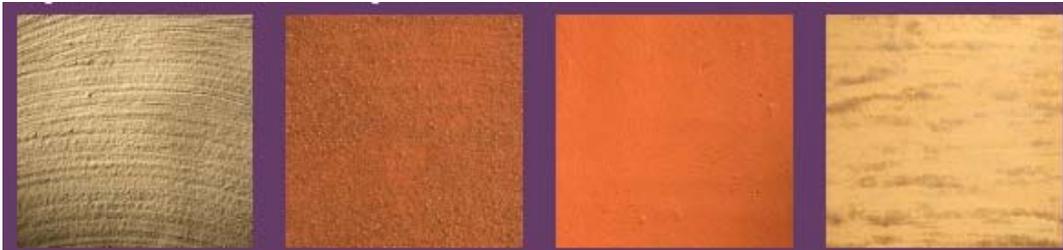


Figure 4 type d'enduits en terre. (source : enduits et mortiers, craterre)

1-Support rugueux 2-grillage en armature 3- supports plus au moins grossiers avec fibres

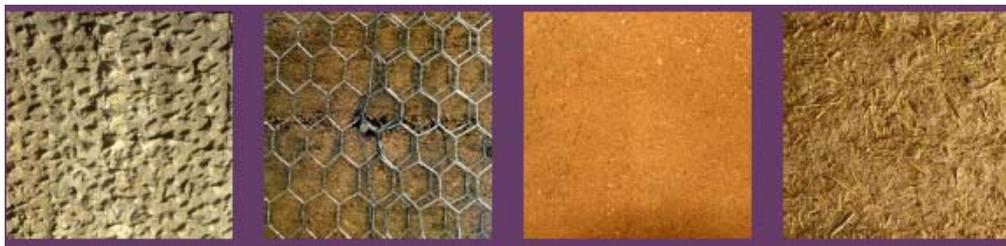


Figure 47 types de traitement supports d'enduits en terre (source : enduits et mortiers, craterre)

III.12.2.5 Les différents essais pour le choix de la bonne terre

Outre les essais de laboratoire, coûteux et longs à effectuer, un certain nombre d'essais de terrain permettent d'apprécier certaines caractéristiques de la terre et de confirmer ou d'infirmer sa convenance à la technique de construction envisagée.

Pour des ouvrages simples, un diagnostic d'identification basé sur ces essais peut suffire à condition que l'on s'assure de la concordance des signes du diagnostic. Si l'on constate des contradictions, il y aura lieu de pratiquer des tests de laboratoire.

Il s'agira de garder à l'esprit qu'une terre à adobe doit idéalement être constituée de sable, de limon et d'argile.

(sable (55%-75%),

limon (10%-28%),

argile (15%-18%).

L'utilisation de terre organique est à éviter.

1. Essai de l'odeur, Cet essai consiste à sentir la terre fraîchement extraite. La terre est organique si elle dégage une odeur qui évoque le moisi et qui s'accroît à l'humidification.

2. Essai du toucher

Cet essai consiste à triturer un échantillon de terre, débarrassée de ses plus grosses particules, à l'état sec, puis humide. La terre est sablonneuse si elle est rugueuse, qu'elle crisse désagréablement sous les doigts. La terre est limoneuse si elle est fine, agréable au toucher et collante. Il faut se méfier des terres limoneuses dans la mesure où une fois sèches, elles ne résistent pas à l'eau. La terre est argileuse si elle est difficile à rompre, lente à se dissoudre dans l'eau, très collante et fine.

3. Essai de cohésion ou «test du cigare»

Préparer la terre à l'état plastique, et la laisser reposer une heure avant de fabriquer le cigare.

Ainsi l'argile a le temps de réagir avec l'eau.

- La terre ne doit pas salir les mains.
- Sur une planche, former un cigare de 3 cm de diamètre et de plus de 20 cm de long.
- Pousser lentement le cigare vers le vide.
- Mesurer la longueur du tronçon qui se détache
- Recommencer 3 fois et calculer la moyenne.

- Procédure pour le test du cigare :

Chaque participant forme un boudin avec la terre gros comme un pouce et d'une longueur de 20 cm. Ils poussent ensuite leur cigare dans le vide jusqu'à qu'il se casse. Ils peuvent ensuite comparer le bout cassé à la pige pour voir à quoi correspond leur terre.

4. Essai de résistance à sec ou test de la pastille

Cet essai consiste à interpréter la nature de la terre en fonction de sa résistance à sec.

Il s'agit de mouler deux pastilles de terre à l'état plastique à l'aide d'un moule circulaire.

Après séchage :

- Observer les éventuels phénomènes de rétraction.
- Evaluer la résistance de la terre à la rupture et l'écrasement entre le pouce et l'index.

La TERRE sera considérée convenable pour produire des briques d'adobe si son retrait est inférieur à 1 mm et qu'elle est difficile à réduire en poudre.

RECOMMANDATION : Le plus simple est de mouler les briques d'adobe et d'analyser leur comportement après séchage (aspect, fissures, résistance). Si le temps manque, les essais

Ci-dessus permettent de faciliter la sélection de la terre la mieux adaptée.

. III.13 **Isolation Ecologique**

III.13.1 **Pourquoi Isoler ?**

Concevoir des bâtiments adaptés au climat local, en utilisant, avec bon sens, les ressources présentes : le soleil, le vent, la végétation et la température ambiante.

Le but final est de créer les meilleures conditions de confort physiologique (température, humidité, air neuf ...) pour les occupants, tout en limitant le recours aux systèmes mécaniques de chauffage, climatisation et ventilation.

Pour cela, on cherche à tirer parti au mieux des transferts naturels d'énergie et de vapeur d'eau, à travers l'enveloppe du bâtiment :

- Réduire les pertes thermiques d'hiver et les gains solaires d'été.

Isolations fixes ou mobiles (volets), espaces tampons au Nord et à l'Ouest, minimum d'ouvertures au Nord, « casquettes solaires » au Sud pour l'été...

- Favoriser les gains solaires d'hiver et les déperditions d'été.

Ouvertures au Sud et à l'Est, capteurs solaires, ventilation nocturne estivale

- Limiter le refroidissement extérieur par le vent en hiver.

Implantation du bâtiment en fonction de la topographie et de la végétation, forme compacte et « aérodynamique » de la construction

- Déphaser les variations de température : en hiver, les déperditions thermiques maximales en fin de nuit, peuvent être compensées par le « stockage » de l'énergie accumulée le jour dans des masses thermiques : c'est le « déphasage » : il est obtenu à l'aide de masses thermiques maximales à l'intérieur

III.13.2. **QU'EST-CE QU'UNE ISOLATION ECOLOGIQUE?**

Isolation écologique participe en principe à la préservation de l'environnement dans la mesure où elle permet des économies de chauffage, de climatisation en été, et réduit donc le recours aux exigences non renouvelables.

Mais l'impact d'un isolant, comme celui des autres matériaux d'un bâtiment ne réduit pas les gains qu'il procure pendant son utilisation : c'est l'ensemble du cycle de vie du matériau, de sa production à son élimination, qui doit être pris en compte.

La prise en compte de tous ces facteurs, et des autres impacts sur l'environnement des matériaux et des modes de construction, et la santé à toutes les étapes de son « cycle de vie » :

- 1- extraction des matières premières et transport
- 2- fabrication
- 3- transport et mise en œuvre
- 4- impact sur la santé des usagés
- 5- durée de vie
- 6- devenir et possibilité de recyclage lors de la démolition

III.13.3- **Inertie thermique :**

C'est la capacité du matériau à emmagasiner une certaine quantité de chaleur. Elle mesure la quantité de la chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1m³ de matériau, cette quantité de chaleur se trouvant stockée dans le matériau. C'est un critère de choix très important. Sa valeur est d'autant plus élevée que le matériau est plus dense.

Pour utiliser au mieux l'énergie solaire de manière passive, et sans surchauffe pour l'habitation ; il est donc préférable de construire avec des matériaux qui ont une capacité thermique élevée¹¹². Bien sur, il serait aussi possible de stocker une quantité de chaleur équivalente dans une paroi en briques creuses. Il est unanimement reconnu que l'inertie thermique joue un rôle non négligeable pour le confort d'hiver et d'été en réduisant les besoins de chauffage et de climatisation.

L'inertie thermique est à distinguer de l'isolation thermique. Un isolant est un matériau léger qui emprisonne l'air et c'est l'air (emprisonné) qui isole. Or, en général, plus un matériau est léger, plus il contient d'air. La laine de verre, le « styrofoam » et la mousse de cellulose sont des matériaux isolants. Une maison légère très isolée va retenir l'air chaud à l'intérieur des pièces, à la mesure de ses infiltrations d'air (notamment par les portes et fenêtres). Les matériaux isolants ont donc toujours une capacité thermique faible (inférieure à 400Kj/m³. °C)

En revanche, un matériau lourd (béton, pierre, brique pleine, fonte, eau, etc.) ne contient pratiquement pas d'air. On dit alors qu'il possède une inertie thermique (ou que sa masse thermique est importante) en raison de sa capacité à absorber une grande quantité de chaleur, à l'emmagasiner et à la dégager par la suite. L'inertie thermique d'un bâtiment dépend donc de

¹¹² Ibid 2005 P17

sa capacité à stocker de la chaleur dans ses murs, ses planchers, son... foyer, etc. sur le graphe ci-dessous on note que les températures à l'intérieur de la bâtisse en briques de terre crue ne suivent pas ceux de l'extérieur à cause, principalement, de l'inertie des murs et du matériau utilisé.

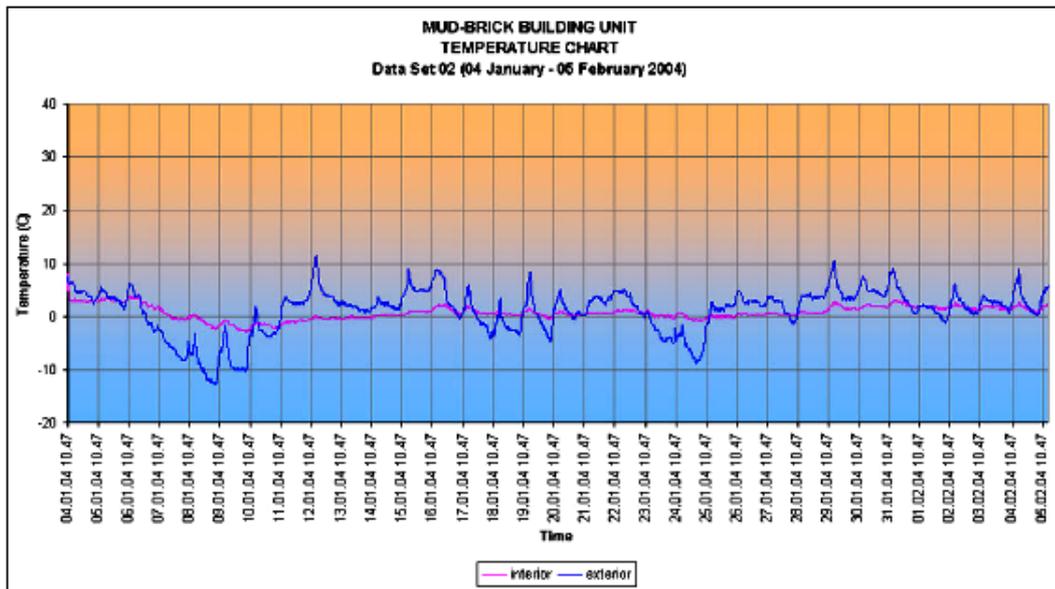


Figure 48 : variation des températures à l'intérieur d'une bâtisse en brique de terre crue . (source : PLEA 2006 -23rd conférence on passive & low energy architecture Genève Suisse sept 2006

Plus les matériaux sont lourds, plus leur inertie est forte, et plus ils se réchauffent et se refroidissent lentement.

Les matériaux dont le S est entre 400 et 1000 KJ/ m3.°C sont bons pour des parois extérieures, mais ils ne peuvent stocker de la chaleur¹¹³ .

L'inertie thermique réduit les pertes dues aux écarts de température¹¹⁴

Le confort d'une maison consiste à maintenir une température ambiante stable, ce qui signifie de la réchauffer en hiver et de la climatiser en été. Mais les écarts de température ne sont pas seulement saisonniers, ils se retrouvent aussi à l'échelle d'une journée ou de quelques jours : écarts entre le jour et la nuit, et d'une journée à l'autre.

Ces écarts journaliers peuvent être très importants et vont générer un inconfort dans les bâtiments s'ils ne sont pas atténués.

¹¹³ L'isolation écologique – jean pierre oliva- terre vivante 2004

¹¹⁴ www.ademe.fr

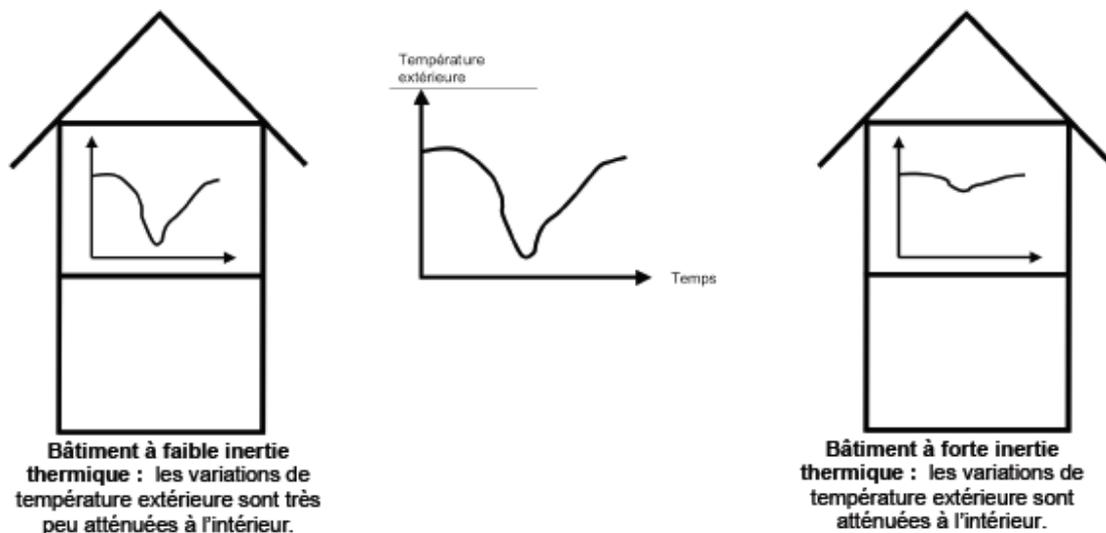


Figure 49 : influence de l'inertie thermique dans un bâtiment (source) : (www.ademe.fr.)

Une forte inertie thermique permet d'atténuer les pointes de températures. En hiver la chaleur emmagasinée la journée va se diffuser pendant la nuit, puis se reconstituer pendant la journée. En été c'est la fraîcheur emmagasinée la nuit qui se libèrera au cours de la journée. Selon l'utilisation des locaux, une forte masse thermique n'est pas forcément une bonne chose. Si les parois sont trop longues à réchauffer, la température de confort sera atteinte après l'utilisation de ceux-ci.¹¹⁵

III.13.4 Le déphasage thermique :

Une des conséquences de l'inertie thermique, Le déphasage est le décalage entre le moment où le matériau est soumis à une source de chaleur et le moment où il restitue la chaleur de l'autre côté du matériau. En faisant varier l'épaisseur du matériau on fait varier le déphasage. Plus un matériau est isolant ou a inertie thermique importante, plus il déphase. Par exemple, le déphase est clairement remarquable lors de l'investigation menée à Yozgat en Turquie sur les bâtisses en terre-pailles et briques de terre. (Voir figure47.)

¹¹⁵ julien chabane – Une ossature bois spécifique au remplissage DSA Grenoble 2006

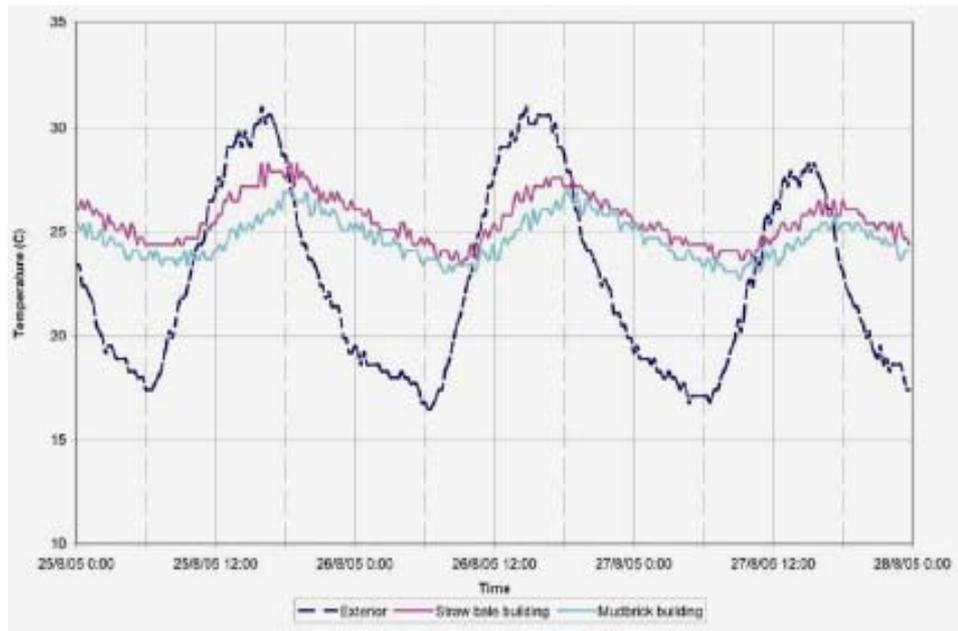


Figure 5 : comparaison des variations des températures l'intérieur de 02 constructions : terre & terre paille par rapport aux températures extérieures. (source : matériels PLEA 2006 -23rd conference on passive & low energy architecture Geneve Suisse sept 2006

III.14. Isolation Hygrothermique De La Terre Crue :

La terre crue est un matériau remarquable par sa souplesse d'utilisation et ses qualités environnementales, en particulier pour la préservation de la qualité de l'air intérieur, moyennant certaines précautions de mise en œuvre.

Dans un local, la vapeur d'eau dégagée par les activités humaines est évacuée pour partie par la ventilation (naturelle ou mécanique), et pour partie stockée dans les parois. Si la vapeur d'eau est emprisonnée dans les murs, elle se condense et stagne dans les parois où elle crée des points de focalisation d'humidité. Cette humidité est source de dégradations du bâti et favorise le développement d'allergènes (moisissures, acariens, bactéries...) à l'intérieur des bâtiments.

Certains matériaux, comme la terre crue, perméables à la vapeur d'eau, ont la capacité de réguler l'humidité, en absorbant l'excès d'humidité de l'air ambiant et en le restituant lorsque l'air est plus sec. Lorsque tous les constituants de la paroi sont perméables à la vapeur d'eau, -on parle de murs respirant, le surplus d'humidité de l'air ambiant est évacué vers l'extérieur par "migration" à travers les matériaux. Pour cela, la composition des parois doit

être soignée et respecter une stratification des résistances à la vapeur d'eau, de façon à ce qu'il soit plus facile à l'eau de sortir du mur que d'y rentrer.

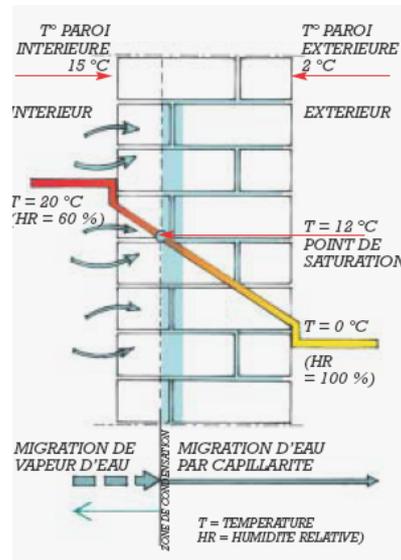


Figure 51 migration de la vapeur d'eau a travers le mur en terre crue. (Source : auteur)

La terre crue absorbe l'excès d'humidité de l'air ambiant, la vapeur d'eau migre dans le mur à travers les couches perméables. Elle se condense en rencontrant de l'air plus froid (Température correspondant au point de rosée).

L'eau s'évacue vers l'extérieur pour la majeure partie, le reste est restitué vers l'intérieur et s'évapore au contact de l'air plus chaud.

Le cycle peut reprendre. Dans un "mur respirant", il n'y a pas stagnation d'eau, donc pas de focalisation d'humidité, ni de sinistres.

La mise en œuvre de la paroi en terre crue doit préserver cette propriété.

- Un enduit à base de chaux a le double avantage d'être imperméable à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau. Il assure ainsi la continuité de la respiration du mur de terre crue. Les enduits à base de ciment sont par contre à proscrire, car ils emprisonnent l'humidité à l'intérieur des murs et conduisent à leur détérioration.

- L'isolant mis en extérieur, permet au mur de terre crue de jouer son rôle de volant hygroscopique et d'amortir les variations d'humidité intérieure. Un isolant imperméable à la vapeur d'eau ne permet plus par contre de profiter des échanges hygrométriques entre intérieur et extérieur. Ces échanges sont préservés avec un isolant respirant (tel que la laine de chanvre, la laine de cellulose...), associé à un enduit à base de chaux.

CONCLUSION

L'utilisation de la terre dans le passé, a donné ses fruits et a contribué au développement des sociétés ancestrales et leurs a offert, abri, outils et autres moyens utiles. Cela n'a pas empêché d'engager des études approfondies sur la matière afin de la mieux comprendre et mieux la maîtriser. Une connaissance bien approfondie de la matière peut très bien nous aider à développer le matériau terre et le banaliser, comme il est aussi possible d'augmenter ses performances mécaniques et thermodynamiques.

Les techniques d'utilisation de la terre comme matériau de construction restent encore très limitées. Les travaux de recherches, actuelles, essayent de lui donner une valeur importante du fait que ses qualités environnementales, sont sans reproches, et ouvrent des horizons très prometteurs.

De récentes études ont démontré, les capacités du matériau terre à concurrencer beaucoup de matériaux, qui ont main basse sur le marché, et aussi une souplesse d'adaptation aux conditions techniques et de confort actuel.

Sur le plan confort hygrothermique, Son association à d'autres matières telles la paille augmente ses performances thermiques. La masse thermique joue clairement un rôle très important à ralentir le transfert de chaleur, même dans les cas où les locaux ne sont pas chauffés, Le temps de déphasage est bien important dans ces cas là.

Chapitre IV :

IV **La terre entre modernité et continuité** :

Introduction :

Sans doute la terre est un des matériaux naturels qui présente des potentialités écologiques prometteuses. L'intérêt porté à la terre par des chercheurs dans le but de minimiser de l'effet des ses inconvénients, nous conduira à consacrer ce chapitre pour résumer un ensemble de recherches entreprises par des chercheurs de différentes nationalités. L'objectif principal est de voir quels sont les facteurs sur lesquels faut-il agir afin de mettre la terre dans le rang des matériaux modernes et enfin l'intégrer dans la mouvance contemporaine, sans pour autant minimiser de ses qualités environnementales.

IV.2 **Terre et confort thermique** :

Beaucoup d'ouvrages, scientifiques, parlent des constructions en terre comme étant très performantes en matière d'isolation thermique. Le confort thermique est une mesure subjective. Il est défini en tant que ' ' état d'esprit exprimant la satisfaction en rapport avec l'environnement thermique¹¹⁶. À travers l'analyse des recherches qui suivent nous allons confirmer ou infirmer cette hypothèse.

IV.2.2 **Evaluation de la performance thermique** :

Des études d'évaluation thermique, de certaines bâtisses récentes, qualifiées de vertes, récemment construites, faites principalement en terre, soit par comparaison ou par investigations et par évaluation post occupation ont été élaborées par :

P. Taylor, de l'université La Trobe Australie, a effectué des études afin de vérifier la performance thermique d'une construction réalisée en terre, par une comparaison entre deux constructions l'une en pisé de terre, l'autre conventionnelle.

Les deux constructions sont situées dans un campus universitaire à Albury-Wodonga, en Australie du sud-est.¹¹⁷ Le premier de terre est (CSU) construit en mode pisé de terre et de matériaux recyclés, il est ventilé naturellement. Le second est construit conventionnellement, ses systèmes de chauffage et climatisation sont actifs et ses matériaux de constructions sont en briques ordinaires.

¹¹⁶ **American Society of Heating, Ashrae** in P. Taylor a*, R.J. Fuller b, M.B. Luther b
Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building; paper published in science direct at FEV 2007

¹¹⁷ **Warren L. Paul, Peter A. Taylor**, A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. paper published in science direct(building and environment) at Nov 2007



Figure 52 constructions en pisé de terre (CSU)



Figure 53 construction conventionnelle (LTU)

Pour examiner ceci les auteurs ont mesuré les perceptions de confort et de satisfaction des occupants du CSU et ceux de LTU, au moyen d'un questionnaire qui a demandé à des occupants d'évaluer leur lieu et environnement de travail en termes d'esthétique, sérénité, éclairage, acoustique, ventilation, température, humidité, et satisfaction globale.

L'étude a confirmé que le confort thermique influence la satisfaction globale avec l'environnement de lieu de travail.

Il a été aussi démontré que l'évidence, ne soutient pas l'hypothèse que les bâtiments verts surpassent les bâtiments conventionnels en termes d'esthétique, sérénité, éclairage, ventilation, acoustiques, ou humidité. Cependant la faible performance de la construction de CSU en ce qui concerne le confort thermique, ne peut pas être vraie étant donné en général que le système de refroidissement hydronique n'était pas opérationnel à l'heure de l'étude. Les occupants qui ont eu chaud au cours de la période d'été étaient pour évaluation faible, par contre ceux qui se sont sentis au frais étaient pour l'évaluation moyenne, alors que ceux qui étaient thermiquement confortables jugeaient leur environnement de travail comme bon.

Étant donné l'importance du confort thermique, et les problèmes identifiés avec le bâtiment de CSU, l'étude propose fortement qu'une simulation, en utilisant des données disponibles de temps, soit effectuée pendant la phase de conception des projets et que des évaluations post occupation soient effectuées peu après, pour assurer la gestion d'immeubles et que les systèmes fonctionnent correctement. L'identification et la solution des problèmes avec les bâtiments verts devraient servir à établir la confiance et à assurer la performance continue des technologies de la construction vertes.

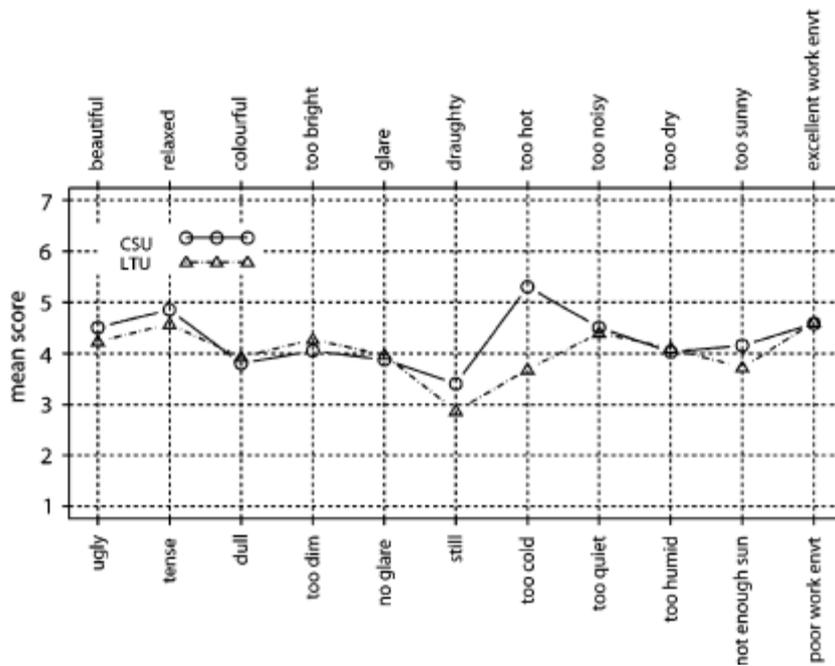


Figure 54 profil des réponses moyennes pour le CSU et LTU (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

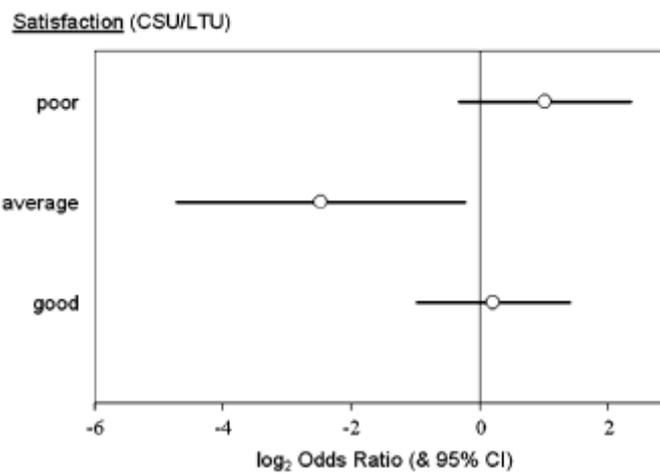


Figure 55 rapport de chance montrant l'association entre la température et la satisfaction avec l'environnement de lieu de travail. (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

Dans une autre étude, menée par les mêmes auteurs, et dans le but d'évaluation du bâtiment en termes de mesure de confort thermique et d'utilisation d'énergie¹¹⁸, a montré que Le bâtiment investit a une grande intensité d'énergie par rapport aux recommandations indiquées par les codes australiens de bâtiment sachant bien que l'utilisation basse de l'électricité lui donne le label lowgreenhouse.

¹¹⁸ P. Taylor, R.J. Fuller, M.B. Luther. Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building; paper published in science direct at FEV 2007

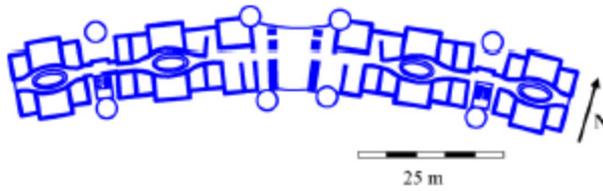


Figure 56 plan et coupe du bâtiment en pisé de terre, CSU (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

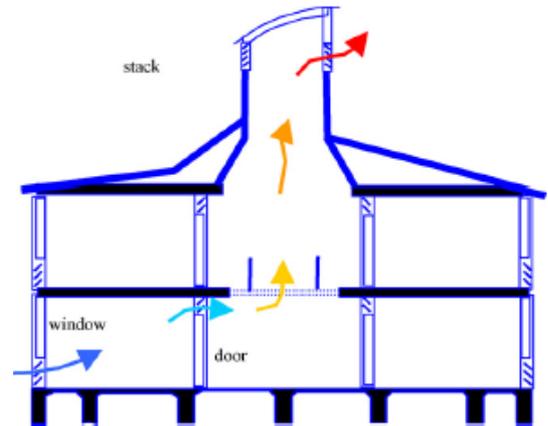


Tableau 5 consommation d'énergie électrique et gaz par le deux bâtiments

Energy source	Table 2 LTU and CSU energy consumption in MJ/m ² 2000–February 2001	
	LTU	for the period December CSU
Electricity	321	35
Natural gas	101	0
Total	422	35

Comme il a été constaté que le système solaire installé n'est pas performant comme prévu. Le confort thermique n'était pas en juste proportion pendant les heures d'occupation. En été la période d'évaluation, deux sur les trois bureaux mesurés ont eu des températures effectives en dehors de la zone de confort de 20% du temps.

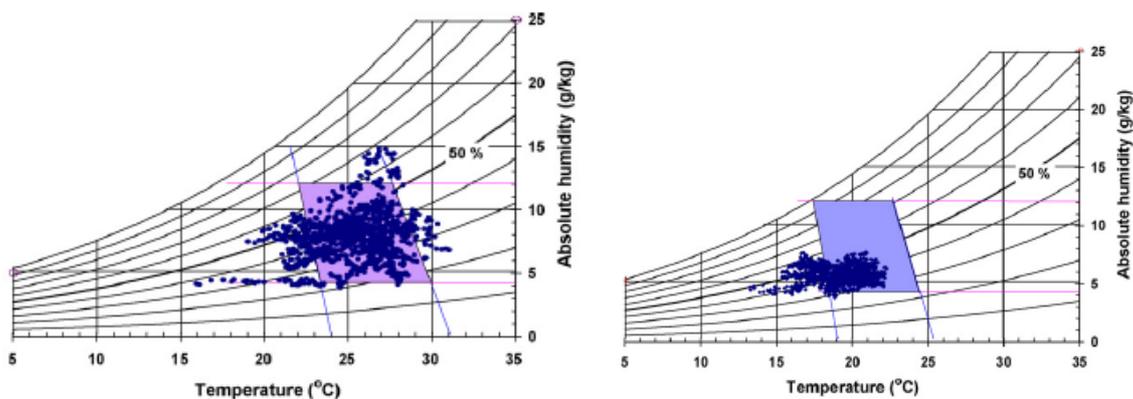


Figure 57: Coïncidence des données psychrométriques mesurées avec le confort d'été et hiver (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

En hiver, la situation était plus mauvaise fournissant un confort thermique pour seulement 70% du temps et le bureau du rez-de-chaussée pour seulement 13% du temps.

L'échange d'air non désiré mène à refroidir les températures internes en hiver. Cependant, en été l'échange d'air souhaité, utilisé pour la purge de nuit s'est avéré insuffisant pour rafraîchir le bâtiment pour l'usage en période diurne.

Taux de conduction de mur, l'infiltration et la purge de nuit sont tous les exemples des systèmes qui permettent, à la chaleur d'être transférée entre le bâtiment et son entourage. Un aspect principal dans la conception de la 'basse énergie' du bâtiment est la commande de ce type d'échange thermique de sorte qu'un grand gain de chaleur ne soit pas exigé en hiver et le bâtiment ne surchauffe pas en été. Les résultats de simulation thermique ont montrés comment contrôler l'écoulement de la chaleur de sorte que le bâtiment se performe mieux.

La simulation par TRNSYS a indiquée l'augmentation de la valeur R - valeur des murs externes par l'isolation externe. Cette validation de simulation a indiquée qu'il y avait un taux d'infiltration relativement élevée d'air.

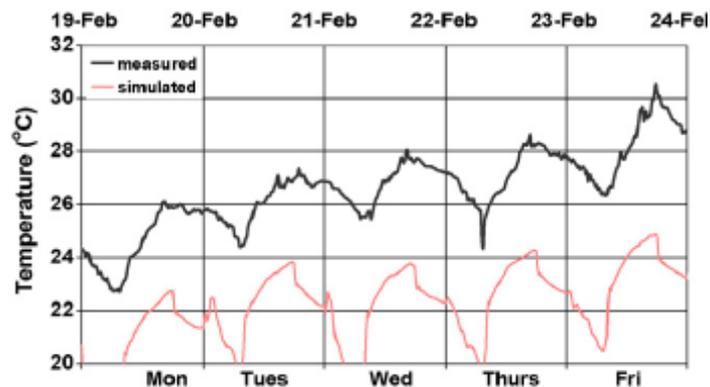


Figure 58 Effet combiné prévu de ventilation accrue de nuit, additionnel isolation et refroidissement hydronic sur des températures de l'air dans le bureau C. (source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

Trois stratégies, donc, ont été étudiées pour réduire les températures du bureau en été. Les stratégies sont : (a) augmentation du taux de ventilation de nuit;
 (b) ajouter l'isolation aux murs externes et au plafond;
 (c) utilisation d'un système de refroidissement hydronic.

Leur effet n'a pas été étudié séparément; plutôt l'effet cumulatif des stratégies a été prévu.

Tableau 6 : effet des strategies sur les T° du bureau C en été.
 effet des stratégies sur le bureau C, T° de l'air en été

Statistique	Mesurée (8C)	Simulé (8C)	Opérative (8C)
Minimum	23.0	18.5	18.8
25% percentile	25.8	22.3	22.0
Median	26.7	23.2	22.9
75% percentile	27.7	23.8	23.4
Maximum	30.5	24.9	24.4

La température effective est au-dessous de la limite inférieure de la Zone de confort d'ASHRAE pour 75% du temps, bien qu'il soit probablement très acceptable par les normes d'Australie.

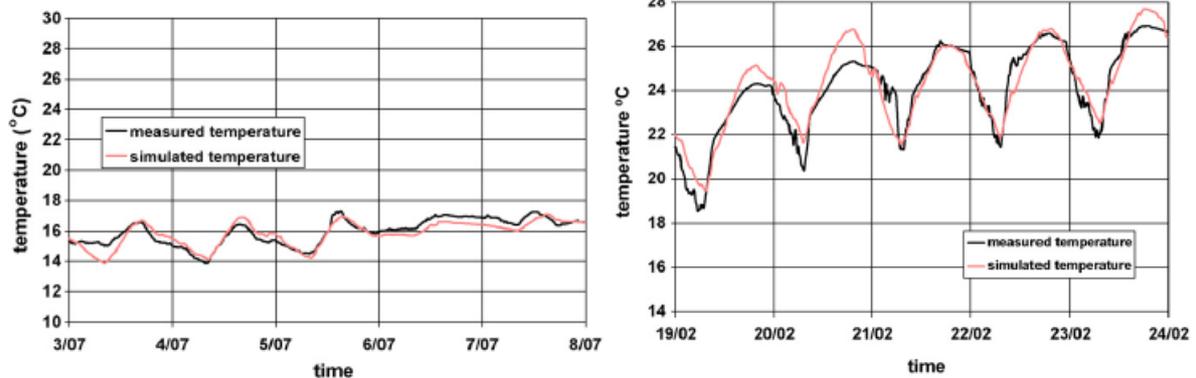


Figure 58 températures simulées et mesurées en hiver Bur A **Figure 59** températures simulées et mesurées en été Br C
(source : P. Taylor, science direct at FEV 2007)

La performance de la terre en tant que matériau isolant a été aussi l'objet d'une autre étude, menée par un groupe de chercheurs Turque, Hanifi Binici Orhan Aksogan , Mehmet Nuri Bodur, Erhan Akca, Selim Kapur , basée essentiellement sur une comparaison entre des échantillons en brique de terre renforcé et ceux en brique de ciment ordinaire et autres matériau.¹¹⁹

Le renforcement de la brique de terre est fait par les fibres de roche basaltique poncée.

Les résultats ont montrés que :

- l'emploi des briques de boue à faibles densités empêche la déperdition d'énergie des bâtiments.
- L'échantillon de brique de boue renforcée de fibres s'est avéré supérieure à celui en béton, pour maintenir les températures intérieures stationnaires pendant l'été et l'hiver.
- Les variations de conductivité thermique des briques de boue sont proportionnelles aux variations de leur densité.

¹¹⁹ Hanifi Binici ,*, Orhan Aksogan , Tahir Shah. **Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material**, paper published sur Elsevier 2004.

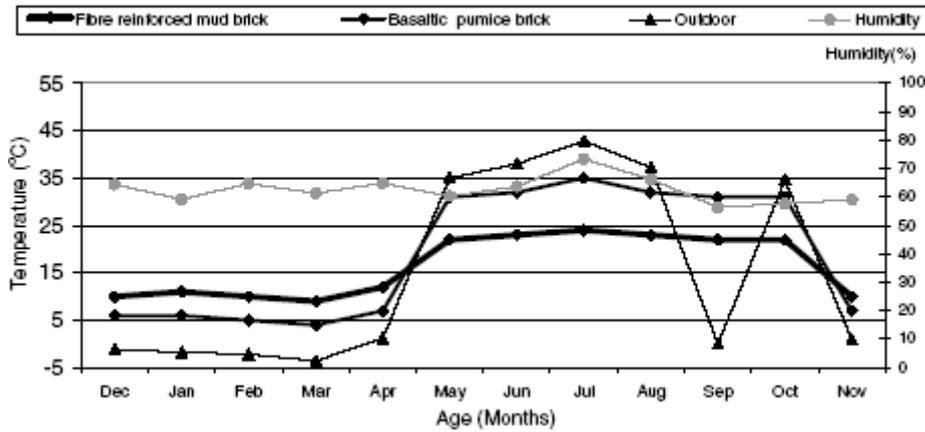


Figure 60 températures, intérieurs, des différents maisons et extérieurs (source : Hanifi Binici Elsevier 2004)

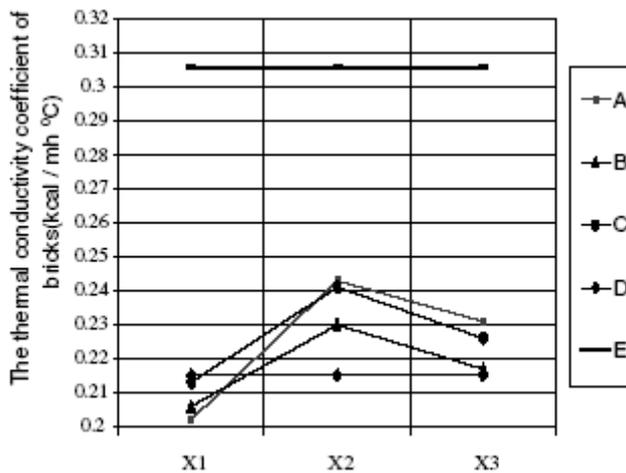


Figure -61 variation du C.C.T en fonction de la densité des spicimens (source : Hanifi Binici Elsevier 2004)

La nécessité d'associer des systèmes passifs aux constructions en terre a été aussi l'objet d'une étude entreprise par un groupe de chercheurs indous.¹²⁰

Les conclusions expérimentales, basées sur la performance thermique de la maison d'adobe intégrée avec EAHE (earth air heat exchange) comme suit:

¹²⁰ Arvind Chel *, G.N.Tiwari . Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate, juillet 2008 ELSEVIER

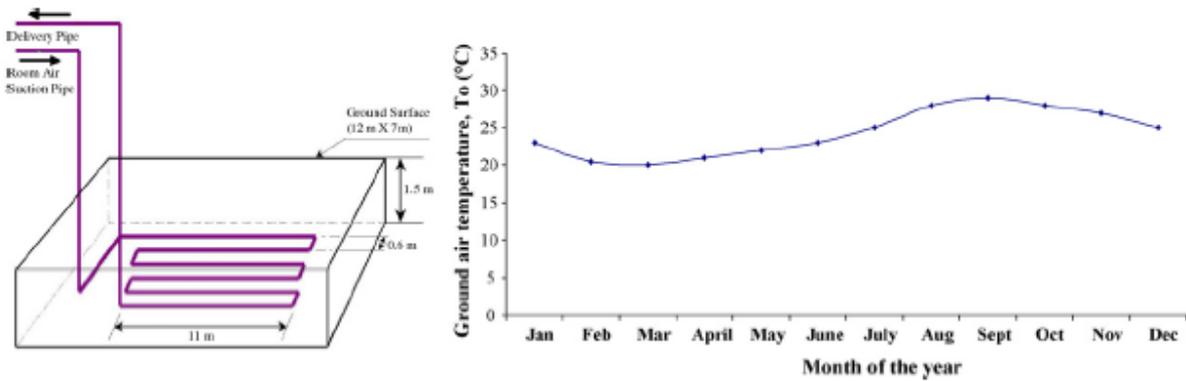


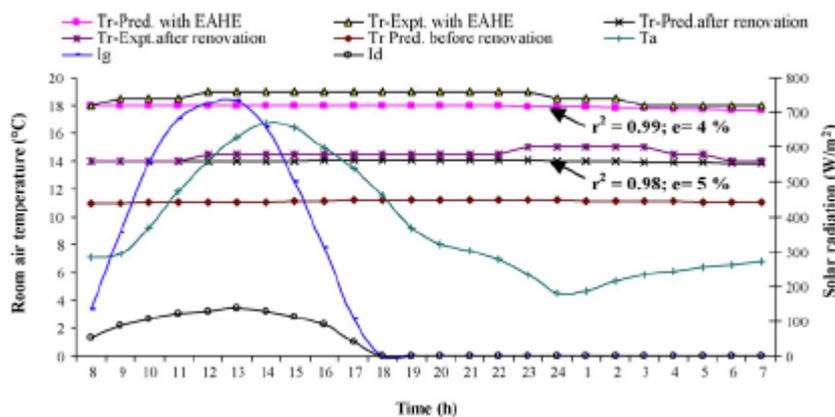
Fig. 1. Pipe layout of EAHE system and ground air temperature at depth of 1.5 m.

Figure 62 schema du systeme EAHE, et Temperature au sol à 1,5m (source : Arvind Chel, , juillet 2008 ELSEVIER)

1. Les températures de maison d'adobe sont tempérées durant toute année. la maison d'adobe à la température de l'air de pièce (T_r) plus haute que la température ambiante de l'air (T_a), en hiver et inférieur T_a en été près $5 - 15\text{ }^\circ\text{C}$. Ce qui mène au potentiel considérable d'économie d'énergie de maison d'adobe.

2. La maison d'adobe offre des possibilités intéressantes considérables d'économie d'énergie pour des Conditions climatiques indiennes. Ces maisons d'adobe peuvent être facilement adopté pour tous les endroits, particulièrement dans les climats chaud et sec régions des secteurs semi-urbains et ruraux partout dans le monde, dans le but de réaliser le confort thermique.

3-Le rapport saisonnier moyen d'efficacité énergétique pour le chauffage et le refroidissement en utilisant l'EAHE a été déterminé en tant que 1,8 et 2,9 respectivement de fig. 3 (c). Par conséquent, EAHE est plus efficace pour chauffage par rapport au refroidissement.



a)

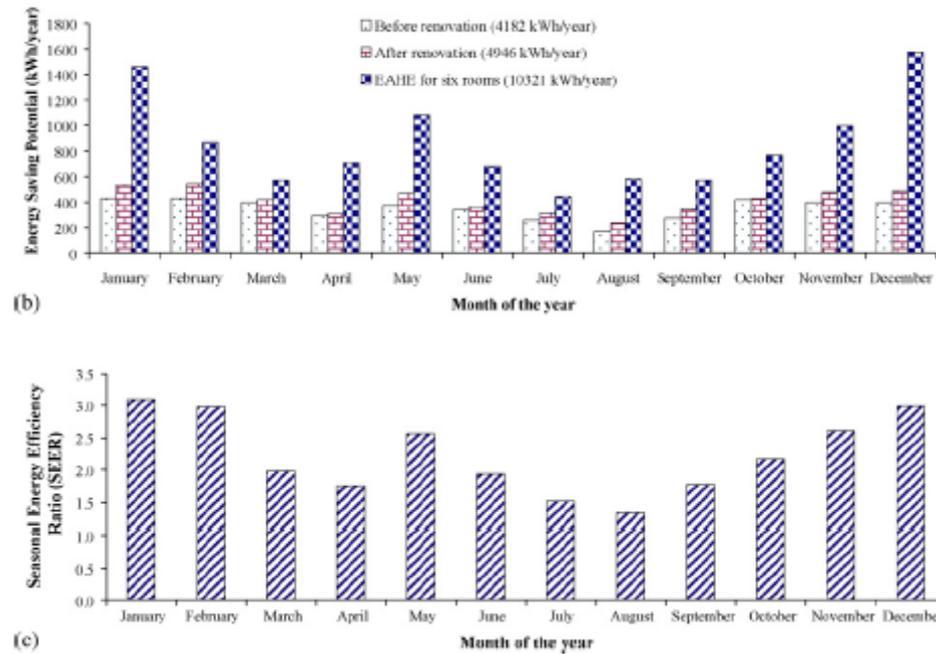


Figure -63 (a) Température de l'air expérimentale et prévue de la pièce 3 de la construction en janvier (i) avant la rénovation, (ii) après rénovation et (iii) avec EAHE. (b) Comparaison d'annuaire potentiel d'économie d'énergie de la maison d'adobe (i) avant la rénovation, (ii) après rénovation et (iii) avec EAHE pour six salles après rénovation. (c) Rapport saisonnier d'efficacité énergétique d'EAHE pour chauffage/climatisation.

IV.2 2 Evaluation du transfère thermique :

Pour ce sujet les chercheurs P. Taylor , M.B. Luther ont entrepris une étude sur un bâtiment existant en pisé de terre, La recherche est comme une réponse à la polémique récente concernant la convenance de Construction en pisé de terre, comme enveloppe efficace de bâtiment en vue de sa performance thermique.¹²¹

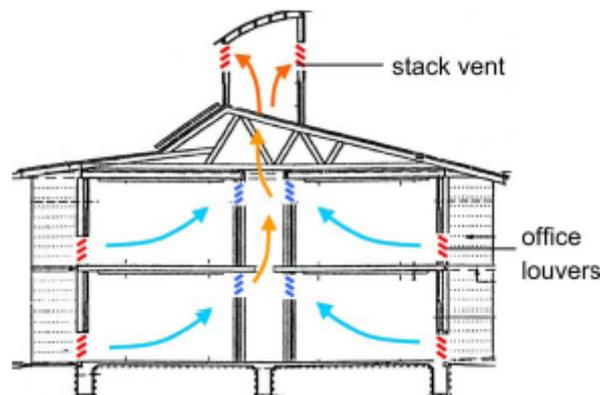


Figure -64 coupe sur le bâtiment montrant la ventilation naturelle (Source : P. Taylor , M.B. Luther Aout 2003, ELSEVIER)

La grande masse de ces murs et le retard thermique associé dans le transfert thermique de l'extérieur à l'intérieur peut avoir comme conséquence la performance d'une manière

¹²¹ P. Taylor , M.B. Luther , **Evaluating rammed earth walls: a case study**, Aout 2003, ELSEVIER

satisfaisante des murs dans un bâtiment qui est seulement occupé pendant des heures de travail. Les murs en pisé de terre, internes, peuvent agir comme des modérateurs de la hausse de températures journalières et contribuent à réaliser une température confortable dans le bâtiment.

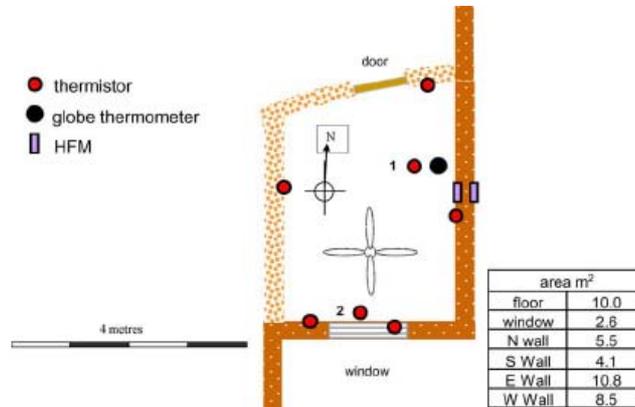


Figure 65 schéma montrant les points de mesures (Source : P. Taylor , M.B. Luther Aout 2003, ELSEVIER)

Les calculs de transfert d'énergie pendant des heures occupées indiquent que la charge thermique du mur Est, était la même que la charge thermique d'infiltration, mais elle était seulement de 25% de la charge thermique diffuse de rayonnement. Le mur Ouest interne a absorbé autant de chaleur que le mur Est a émis. Ces Données ont démontrées que le mur Est retarde le matin le rayonnement transmis à la surface du mur intérieur jusqu' au soir.

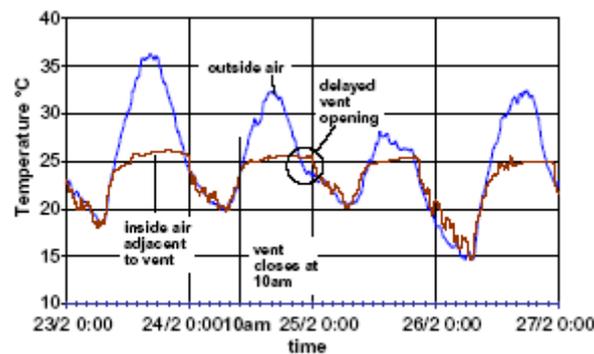


Figure 66 variations de la ventilation et des températures de l'air

La chaleur a été transférée par les murs à l'espace du bureau par convection et rayonnement.

La puissance (Q_{c+r}) échangé avec la salle peut être exprimée en tant que produit d'un coefficient de surface $hc+r$ et la différence de température entre le mur et l'air

$$q_{c+r} = hc+r (T_{\text{surface}} - T_{\text{air}})$$

Où T_{surface} est la température surfacique des murs intérieurs ; T_{air} température d'air dans la chambre. Le plancher, le plafond et d'autres murs absorbent la chaleur pendant le jour ce qui aide au refroidissement du bureau.

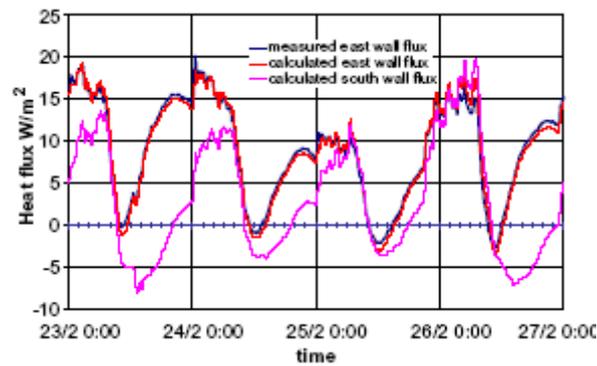


Figure 67 Flux de chaleur mesurés et calculés dans les murs en pisé de terre

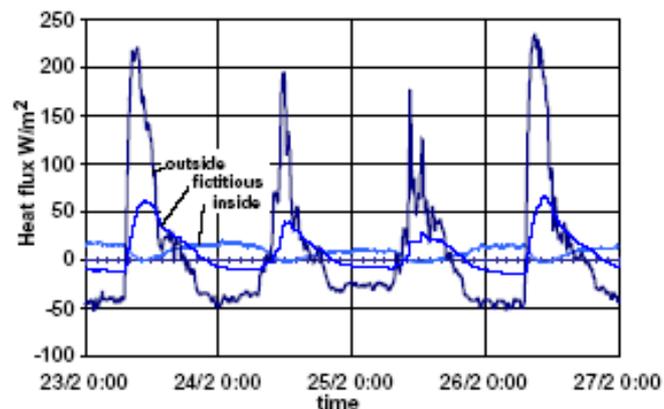


Figure 68 mesures du flux de chaleur int & ext du mur Est et flux fictif

Les murs externes se sont avérés peu transmissibles de chaleur absorbée par les murs internes pendant ce temps. Le rayonnement diffus de ciel transmis par la fenêtre et l'infiltration sont tous deux, probablement facteurs importants dans la charge thermique d'été.

La performance thermique des murs en pisé de terre dans ce climat et à ce moment d'année a pu probablement être amélioré avec un refroidissement de nuit plus efficace.

L'analyse a, aussi, montrée la grande capacité thermique des murs de terre et la nécessité d'améliorer leurs propriétés thermiques au-dessus de celle prévu par considération de R - seules valeurs.

IV.3.1 Terre Et Durabilite :

IV.3.1 Stabilisation chimique et mécanique :

La stabilisation consiste à ajouter à la terre un ou plusieurs additifs afin de rendre le matériau plus résistant, de réduire sa sensibilité à l'eau et de diminuer les phénomènes de gonflement et de retrait. Sujet traité par romain Anger pour sa thèse de doctorat.

Dans le cas de la stabilisation chaux ciment, deux additifs sont employés : la chaux et le ciment. Lorsque la chaux est mélangée à la terre, celle-ci a une première action immédiate :

elle provoque la floculation des particules d'argile. Il se forme alors des grumeaux qui peuvent être visibles à l'œil nu.

Les ions Ca^{2+} libérés par la chaux provoquent une interaction électrostatique attractive relativement faible entre les particules d'argile mais suffisante pour les agglomérer en agrégats. La texture du sol est profondément modifiée.

L'ajout consécutif de ciment permet d'enrober ces agrégats d'argile d'une coque de ciment et de les lier entre eux par des ponts de ciment.

la chaux agglomère les argiles et les fait réagir chimiquement : les agrégats indurent et se transforment en cailloux inertes. Le ciment lie les grumeaux d'argile indurés entre eux. Ce procédé classique, très répandu, ne permet pas de profiter des propriétés liantes des argiles et de leur immense surface de collage. La microstructure n'est pas optimisée. Il s'agit cependant d'une solution moyenne et unique qui fonctionne avec le plus grand nombre de terres possible¹²².

a- Les ciments naturels

La nature possède ses propres ciments. Les grès (sandstone en anglais, littéralement pierre de sable) et les conglomérats sont de véritables bétons naturels. La molasse (photo 11.a) et un mur en pisé (photo 11.b) sont tous deux des ensembles de grains agglomérés par un liant : ils ne sont pas si éloignés !



Figure 69 Photo1.1: Molasse : conglomérat de cailloux, graviers, sables agglomérés par un liant carbonaté. Source (doctorat romain anger) **Photo1.2: Détail d'un mur en pisé.**

La silice, les carbonates et les oxydes de fer sont des ciments fréquents des grès. Les roches sédimentaires se forment à partir d'un mélange de grains lors de la diagenèse. Les processus de cimentation nécessitent le plus souvent des conditions de température ou de pression très élevées. Cependant il existe également des phénomènes d'induration des sols qui se produisent dans des conditions de surface. Ils sont souvent liés à la présence d'oxydes de fer¹²³.

¹²² Romain Anger doctorat Architectures de terre et diversité des matériaux granulaires INSA de Lyon / ENSAG (

¹²³ ibid

Cette induration est liée à des processus d'oxydo-réduction. Les oxydes de fer II sont plus solubles que les oxydes de fer III. Si, par oxydation, des éléments de fer II sont réduits en fer III, la cristallisation des éléments solubles cimente les différentes particules du sol. A ces processus d'oxydo-réduction correspondent ainsi des processus de dissolution - reprécipitation qui sont à la base des phénomènes de cimentation et d'induration.¹²⁴



Figure 70 Plinthite découpée en bloc in situ. Et stocke a l'air libre pour durcissement source (doctorat romain anger)

« En 1800, en Inde, Buchanan observe une terre meuble capable de, rapidement, durcir lorsqu'elle est exposée à l'air. Les habitants, sur place, utilisent ces terres pour confectionner des briques. Buchanan donne alors le nom de latérite à ces sols, du latin **later** qui signifie brique. Ce type particulier de terres, qui durcissent à l'air, ont été rebaptisées plinthites, le mot latérite désignant une gamme beaucoup plus étendue de sols. Les blocs sont découpés dans ces plinthites, relativement meubles in situ, puis sont stockées à l'air pour, petit à petit, se transformer en pierres. »

- **OBJECTIFS**

Trois possibilités d'intervention sur la structure et la texture

- réduire le volume des vides entre les particules agir sur la parasite ;
- colmater les vides qui ne peuvent être supprimés : agir sur la perméabilité ;
- améliorer les liens entre les particules : agir sur la résistance mécanique.

Les principaux objectifs poursuivis sont ;

- obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques : augmenter la résistance à la compression sèche et humide
- réduire la parasite et les variations de volume gonflement-retrait à l'eau ;
- améliorer la résistance à l'érosion du vent et de la pluie : réduire l'abrasion de surface et imperméabiliser.

- **PROCEDES**

On dénombre trois procédés de stabilisation.

¹²⁴ ibid

- Stabilisation mécanique ; on modifie les propriétés de la terre en intervenant sur la structure ; c'est le compactage de la terre qui modifie sa densité, sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.
- Stabilisation physique : les propriétés d'une Terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes.
- Stabilisation chimique: la terre est ajoutée à d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés.

- LES STABILISANTS

1. Sables et graviers : ils sont ajoutés lorsque la terre, est souvent trop argileuse, N'est pas utilisable en son état brut, En corrigeant la texture, ils permettent de densifier.
2. Fibres : leur ajout pour armer la terre est dits courant dans les adobes traditionnelles mais incompatible avec le processus de compression des BTC car ils donnent trop d'élasticité au mélange.
3. Bitume : il permet d'imperméabiliser mais il exige une distribution homogène qui réclame un procédé nécessitant beaucoup d'eau, comme les adobes.
4. Résines et produits chimiques : ils cumulent souvent plusieurs moyens de stabilisation. Leur efficacité est dans la plupart des cas dépendante de terres et de procédés très spécifiques demandant réflexion avant usage.

Ciment et chaux : le ciment qui permet d'enchaîner et la chaux de façonner

IV.3.2 **Renforcement:**

Aussi des recherches de laboratoire viennent enrichir le thème, et sont lancées dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques de la terre, Il en résulte, notamment, de celles entreprises par (Hanifi Binici , Orhan Aksogan , Tahir Shah) de l'université turque¹²⁵, l'introduction de fibres à la terre pour améliorer les caractéristiques:

- Les fibres, reliées ensemble par la boue, fournissent une résistance à la traction aux briques de boue, et une meilleure concordance entre les couches de boue.
- la relation de contrainte tension des briques de boue une fois comprimée est très importante.
- les briques de terre renforcées de fibres se conforment aux normes techniques turque ASTM.
- Ce genre de brique de boue peut être moulé avec des formes et tailles dépendant, le rendant efficace comme matériau de construction.

¹²⁵ Hanifi Binici ,*, Orhan Aksogan , Tahir Shah. **Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material**, paper published sur Elsevier 2004.

- les couches, d'interface, de fibres, de matériaux, augmentent la résistance à la pression et la forme 3 géométrique donne de meilleurs résultats.

Geometrical shape of specimens

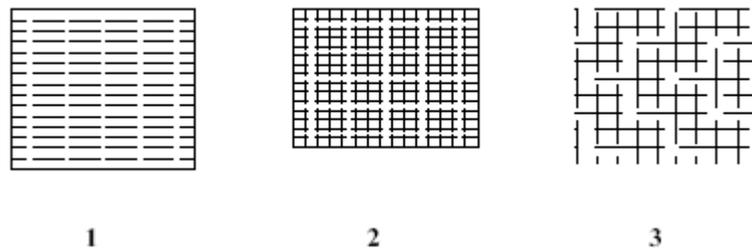


Figure 71 forme de fibres mises en oeuvre

Tableau 6 composition des spicimens

Mixture proportions

Mix designations	Components (kg)								
	Clay	Cement	Basaltic pumice	Lime	Gypsum	Plastic fibre	Straw	Polystyrene fabric	Water
A	50	10	15	2	3	0.1	–	–	20
B	50	10	15	2	3	–	2	–	20
C	50	10	15	2	3	–	–	0.5	20

* Mr R. Bahar , M. Benazzoug ,et S. Kenai d'Algerie se sont penchés aussi à améliorer la performance mécanique de la terre par stabilisation, soit chimiquement par le ciment ou mécaniquement par statique, dynamique et vibro-tassement ou stabilisation chimique et mécanique¹²⁶.

Les conclusions finales furent :

- La stabilisation mécanique par tassement dynamique semble donnée de meilleurs résultats par rapport au tassement statique ou vibro-statique.
- Une meilleure résistance à la pression à l'état sec et après 48 h de l'immersion dans l'eau a été obtenue avec la stabilisation chimique au contenu de ciment plus haut que 8%.
- La teneur en eau optimale devrait toujours être cherchée pour obtenir une plus haute résistance et une longévité plus élevée.
- La diminution élevée de la résistance à la pression après 48 h de l'immersion dans l'eau même avec le tassement dynamique et le contenu plus élevé de ciment indique l'importance de la conception appropriée de bâtiment évitant un contact direct des blocs stabilisés de terre avec l'eau, tel que l'eau de pluie dans les régions humides.

¹²⁶ R. Bahar , M. Benazzoug , S. Kenai ,*Performance of compacted cement-stabilised soil, publiée en janv 2004 ELSEVIER

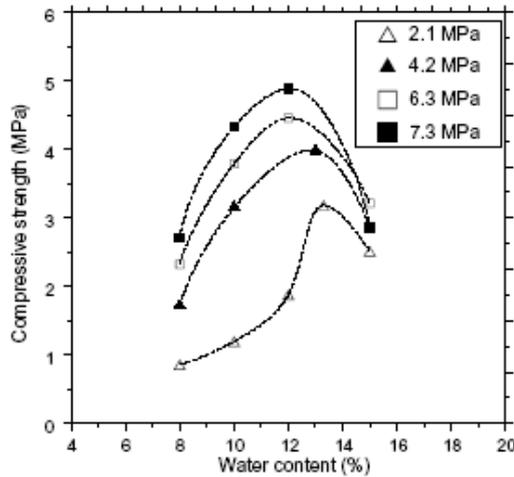
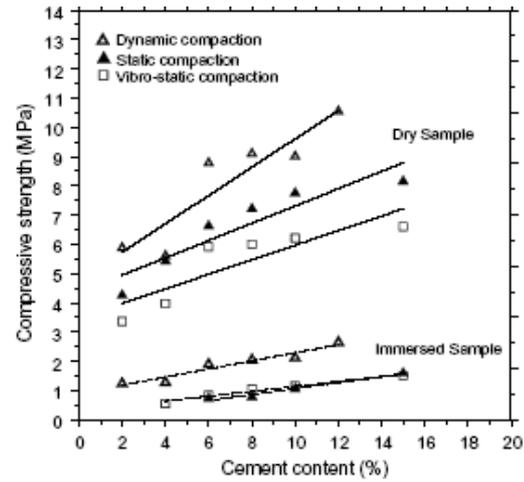


Figure 72 compression sous compactage statique.



Effet de méthode de compactage sur la compression sec et immerisible

Tableau 7 absorption totale en eau des spicimens stabilisés par ciment

Cement content (%)	2	4	6	8	10	15
Absorption coefficient (%)	—	—	13.68	14.95	16.60	16.96

Tableau 8 comparaison d'absorptivité par capillarité avec compactage dynamique et statique

Cement content (%)		0	5	10
Absorption coefficient (%)	Static compaction	14.29	10.0	6.56
	Dynamic compaction	11.92	9.76	2.71

Le manque de longévité de la terre a été la barrière significative à son acceptation comme matériau moderne. Des chercheurs notamment ceux de UTSydney, Dr. Kevan Heathcote & Gregory Moor ont fait un travail dans le but d'augmenter la résistance à l'eau, deux essais, l'un au laboratoire l'autre sur le terrain, ont soumis des spécimens à l'érosion par arrosage¹²⁷.

¹²⁷ Gregory Moor & Kevan Heathcote **Earth Building in Australia - Durability Research**, Modern Earth Building 2002 – Berlin.



Figure -73 spécimen au laboratoire



Figure -74 spécimen exposés a l'exterieur

La quantité d'érosion dans ces caisses était très petite et les inexactitudes des mesures pourraient être critiquées.

Afin d'obtenir l'érosion mesurable ces spécimens ont été pulvérisés pendant des périodes beaucoup plus longues, de l'ordre de 2 à 3 heures. Les essais récents ont montré que le taux d'érosion décroît de manière significative avec le temps, de ce fait ils présentent une erreur dans les calculs des volumes de l'eau.

Il y avait bonne corrélation entre la perte de poids sur le terrain, comparé à la perte de poids au laboratoire, pour un contenu de ciment de : 3, 4 et 5%. Le rapport entre les deux était dans ce cas-ci approximativement 4,5%, c.-à-d. l'érosion au terrain était quatre fois que l'érosion dans le laboratoire par volume unitaire de l'eau effectuer sur la surface. Certaines des raisons possibles pour lesquelles ce rapport peut être le plus grand sont :

- Différence entre la vitesse d'incidence de vent et la vitesse de jet.
- Effet d'angle d'attaque des précipitations.
- La différence entre les tailles de gouttes de pluie et le jet.
- Effet du mouillage et séchage des spécimens de terrain.

L'érosion des murs pose rarement un problème structural, considérant que les murs de la terre sont généralement beaucoup plus épais que des murs normalement de maçonnerie. Pour un mur simple, épais 250mm, même une perte de 50 millimètres aura peu de signification structurale. L'érosion est donc plus un problème de l'esthétique, et une similitude peut être dessinée entre les niveaux acceptables de l'érosion et des classes acceptables de la finition extérieure dans le travail concret. Adoptant trois catégories, que nous pourrions définir :

1 Surface extérieure de la classe/ où on ne s'attend pas à ce que l'érosion extérieure moyenne sur une période de 50 ans excède 4 millimètres avec des domaines locaux de l'érosion de 6 millimètres.

2 *Surface extérieure de la classe* / où on ne s'attend pas à ce que l'érosion extérieure moyenne sur une période de 50 ans excède 8 millimètres avec des domaines locaux de l'érosion de 12 millimètres.

3 *Surface extérieure de la classe* / où on ne s'attend pas à ce que l'érosion extérieure moyenne sur une période de 50 ans excède 12 millimètres avec des domaines locaux de l'érosion de 18 millimètres.

Les résultats de cette recherche ont permis de produire un rapport entre les précipitations annuelles à un endroit particulier et au temps de pulvérisation nécessaires pour qu'il y ait un rapport entre la profondeur d'érosion au terrain et la profondeur d'érosion des spécimens au laboratoire, assumant une vitesse de vent moyenne pendant la pluie d'environ 7 m/sec, et une durée de vie de 50 ans.

Basé sur des rapports établis entre l'érosion et les facteurs de correction de vitesse de l'eau des situations ont été alors établis où la vitesse de vent moyenne pendant la pluie était plus hautes ou plus humblement que 7 m/sec.

Tandis que les résultats présentes une différence entre le laboratoire et les résultats d'essai sur le terrain par rapport à l'érosion par volume unitaire de l'eau projetée sur les spécimens. Cette différence augmente exponentiellement avec l'augmentation du contenu de ciment. Il s'avère que les spécimens du terrain ont exigé beaucoup moins de volumes d'eau de réaliser les pertes de masse semblables et que cette différence ne pourrait pas être expliquée en termes de tailles de baisse ou vitesses d'impact. ces différences, qui peuvent être dues aux polluants atmosphériques ou aux cycles mouillage-wetting-drying.

Les résultats des essais d'érosion accélérée, de Mr R. Bahar , M. Benazzoug ,et S. Kenai d'algerie, viennent confirmer et montrent une désintégration complète des spécimens non stabilisés.¹²⁸

L'effet sur les spécimens compacts stabilisés ne montre aucun signe d'évidence de détresse sur la surface.

La perméabilité élevée à l'eau, l'absorption d'eau plus élevée et la faible résistance à la compression après immersion dans l'eau a pu être améliorée en traitant la surface avec le ciment mélangé au polymères ou à la chaux –de ciment.

¹²⁸ R. Bahar , M. Benazzoug , S. Kenai , *Performance of compacted cement-stabilised soil, publie en janv 2004 ELSEVIER

IV.3.3 Amélioration et renforcements constructifs, antisismique

Les maisons traditionnelles non renforcées en brique de terre sont fortement susceptibles à des dommages et des destructions pendant des événements sismiques.

Des essais menés par des scientifiques, B. Samali , D.M. Dowling, J. Li and U. Dackermann, deux systèmes de renfort pour des structures de briques de terre¹²⁹:

- un avec le renfort vertical dans les murs;
- l'autre avec le renfort vertical attaché à l'extérieur des murs.



Figure -75 spicemen , renfort interieur



Figure - 76 spicemen, renfort attaché à l'exterieur

Des panneaux de mur en U ont été soumis au chargement dynamique passager en utilisant une table de secousse pour évaluer la réponse aux forces séismiques. L'essai et l'analyse ont indiqué que les deux systèmes pour être efficaces à empêcher les fissures initiales, aussi bien que des dommages structuraux principaux et l'effondrement final. Le système incorporant le renfort vertical externe a exécuté mieux, et a l'avantage clair d'être plus simple pour être construit, aussi bien qu'être une option viable pour modification et renforcement des logements existants.

En nouvelle Zélande, zone a forte activité séismique, Hugh W MORRIS et Richard WALKER, ont donnés une autre forme de renforcement recommander pour des constructions en terre.¹³⁰

¹²⁹ B. Samali , D.M. Dowling , J. Li and U. Dackermann, Shake table testing and dynamic response of u-shaped adobe mudbrick wall units, presented on the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 18-22 April 2006, San Francisco, California,

¹³⁰ Hugh W MORRIS And Richard WALKER, **ASEISMIC DESIGN AND CONSTRUCTION OF EARTH BUILDINGS IN NEW ZEALAND** , *Australasian Structural Engineering Conference, Proceedings*

- Les murs de terre, renforcés, construits selon NZS 4299, ont une barre de renforcement D12 verticale à chaque extrémité du mur attachés à une distance de 150 à 200 mm des extrémités du mur.

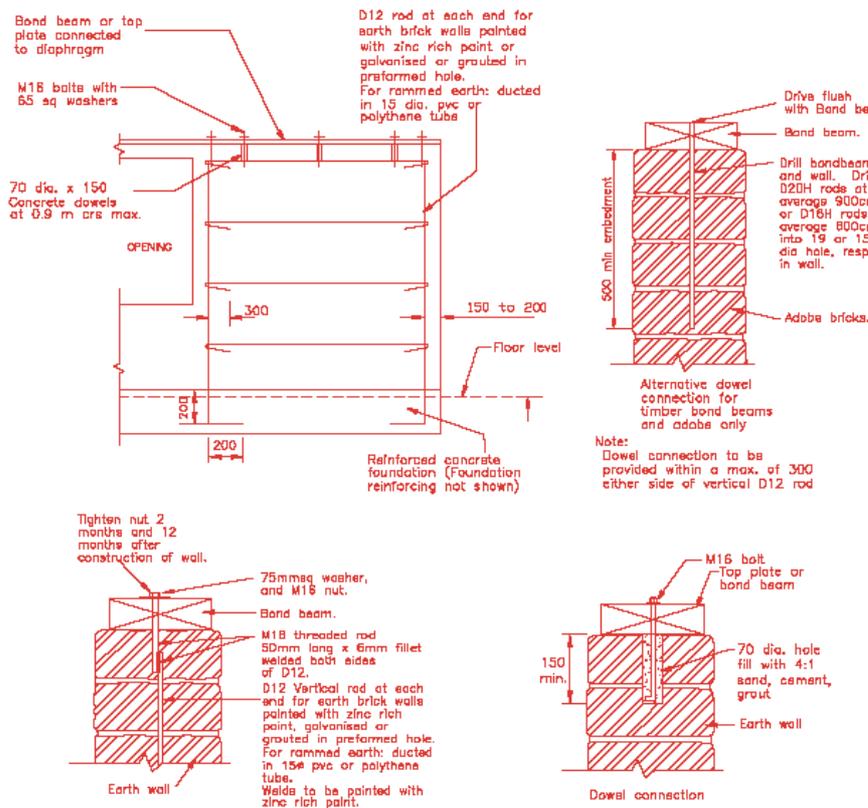


Figure 77 Raccordements de renforcement et de doigt pour renforcés les murs

Le renforcement additionnelle verticale est recommandé dans le cas des murs longs dans le but de résister à des charges plates de vissage. Par exemple l'espacement moyen du renfort vertical exigé pour un mur, de 2400 mm d'hauteur, est de 1650 mm.

Polypropylene geotechnical material with quality control strength of 40 kN/m cut into 200 wide strips at 450 c/s vertically.

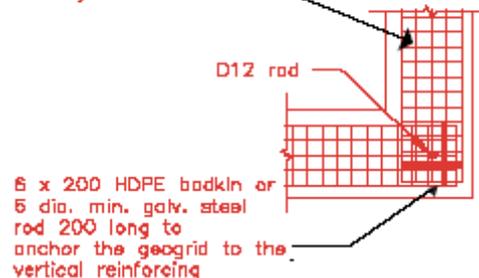


Figure 78 Détail de Geogrid horizontal ,Renfort pour les murs renforcés

Une série d'essais a étudié la performance du panneau de mur de brique de terre et de pisé de terre avec différents renforts. Les murs de brique de terre se comportent d'une façon

malléable. Par contre le pisé de terre atteint des résistances beaucoup plus hautes mais exige du renfort pour empêcher la rupture fragile.

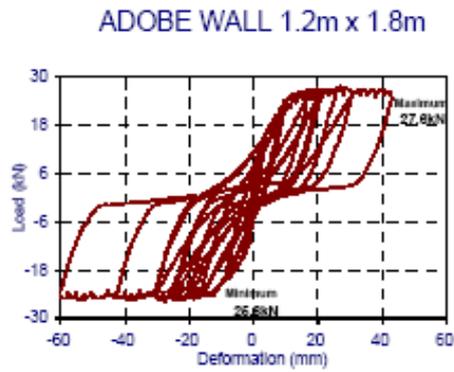


Figure 79 Déformation horizontale de 1.2m au loin 1.8m grand, panneau d'adobe sous le chargement cyclique

L'allemand Gernot Minke a mené des essais de simulations sismiques et développer des recommandations a entreprendre pour ce qui est des constructions en terre

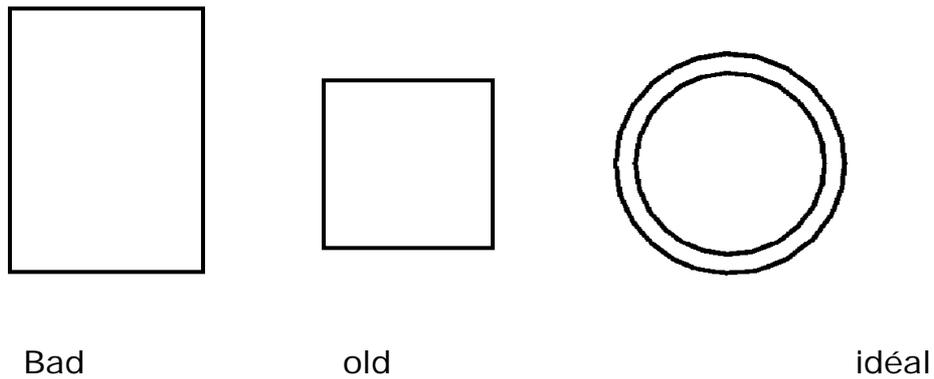


Figure 1 typologie et qualité

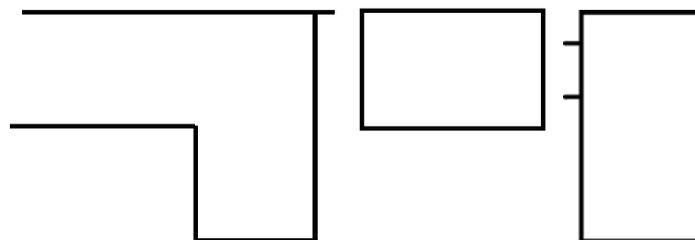


Figure 81 formes préconisées et celles à éviter

Forme en L présente un Danger, forme séparées préconisées

Toute construction et procédés constructifs modernes présentent des faiblesses face aux secousses sismiques qui les sollicitent. La qualité d'une structure et sa résistance au tremblement de terre peut être exprimée en formule suivante¹³¹

Qualité structurale = résistance x flexibilité

Les maisons en terre, malgré leur vulnérabilité face aux secousses sismiques, ont pu durant plusieurs séismes, donner des performances acceptables, en l'occurrence le séisme de Mendoza en Argentine, ou les maisons EN PISE, avec des murs de 60 à 100 centimètres d'épaisseur ont eu assez de résistance aux tremblements de terre et n'ont pas eu besoin d'être flexibles. Ces maisons ont résisté à tous les tremblements de terre des derniers siècles, tandis que tous les bâtiments modernes construits se sont effondrés.

La forme du plan de la maison pourrait avoir une influence importante sur sa stabilité. Les règles suivantes doivent être prises en considération:

- a) un plan carré est meilleur que rectangulaire, et un cercle est meilleur qu'un carré.
- b) Les plans en **L** sont moins stables. dans ce cas-ci la meilleure solution est de

séparer les éléments comme montré dans fig.29

Des essais furent menés, dont le but de démontrer le rôle de la forme à la résistance antisismique, ces derniers ont eus lieu à l'université de KASSEL menés par Mr Gernot Minke. Les résultats ont montrés que la forme en cercle présente une résistance importante, et c'est après le troisième choc que le modèle en cercle a manifesté de légères fissures fig31, le modèle a manifesté une simple séparation après le sixième choc.

Contrairement la maison en PISE de terre, et en plan carré a montré les premières grandes fissures après la deuxième choc, voir fig30.1. et ce n'est qu'après trois courses qu'une part du mur c'est séparé, voir fig. 30.2, et c'est après la quatrième courses que la maison s'est effondrée, voir la fig. 30.3

Seulement le problème avec toutes les structures de mur est que les ouvertures affaiblissent leur stabilité. Par conséquent, les ouvertures doivent être soigneusement conçues et souvent exiger le renfort additionnel.

¹³¹ GERNOT MINKE, Construction manual for earthquake resistant houses built of earth, édition bassin Décembre 2001. P7



1

2



3

Figure 82 résultats des essais sur un modèle de forme carrée
source (Construction manual for earthquake resistant houses built of earth) gernotminke



Figure 83 résultats des essais sur le model circulaire

Après 3em essai

6em essai

Ces résultats ont été obtenus sur des modèles, en pisé, avec des épaisseurs importantes, ce qui n'est pas économique. Un renforcement des murs, pourrait apporter une solution adéquate et obtenir des structures souples et flexibles, en terre.

Il y a trois principes généraux pour concevoir une structure antisismique¹³²:

1. Des murs et le toit sont bien reliés ensemble et si rigide qu'aucune déformation ne se produit durant le tremblement de terre.
2. Les murs sont assez flexibles, de sorte que l'énergie cinétique du tremblement de terre soit absorbée par déformation. Dans ce cas-ci un faisceau d'anneau, qui peut prendre les forces de recourbement, est nécessaire et les joints entre faisceaux de mur et faisceaux de toit doit être assez fort.

¹³² GERNOTMINKE onstruction manual for earthquake resistant houses built of earth, édition bassin Décembre 2001. P12

3. Les murs sont conçus comme mentionné au cas où 2, mais le toit serait fixé aux colonnes séparées du mur, de sorte que les deux systèmes structuraux puissent se déplacer indépendamment car ils ont différentes fréquences.

Pour les murs en brique de terre des renforcements sont préconisés, dans le sens de rendre la structure plus résistante et plus souple, ce qui a été démontré lors des essais menés, à l'université technologique de Sidney, par un groupe de chercheurs B. Samali, D.M.

Dowling, J. Li et U. Dackermann:



Figure 84 Déformations subites par les deux (3K) & (3J) spicimens

L'essai et l'analyse dynamique se sont avérés pour les deux modèles « systèmes » être des moyens extrêmement efficaces d'améliorer la capacité sismique d'un panneau en brique de terre. Bien que sensiblement endommagé après le programme d'essai rigoureux, les deux unités de murs ont résisté à l'effondrement.

De façon générale, le modèle en 3K a été exécuté mieux, tout en maintenant la rigidité dynamique aux simulations d'intensité inférieure, et exhibant moins de mouvement relatif des murs et de distribution plus égale de fissures. En revanche, la perte de rigidité du 2^{em} spécimen 3J aux simulations d'intensité inférieure, plus l'échec principal du mur par cisaillement, indiquant une structure généralement plus faible et plus vulnérable¹³³.

En plus de l'exécution dynamique supérieure du 1^{er} modèle, un avantage important du système est la simplicité relative de la construction, qui le rend une alternative plus attrayante de renfort.

¹³³ B. Samali, D.M. Dowling, J. Li et U. Dackermann, Shake table testing and dynamic response of u-shaped adobe mudbrick wall units, paper présenté au 8^{em} conférence nationale US le 18-22 avril 2006 San Francisco

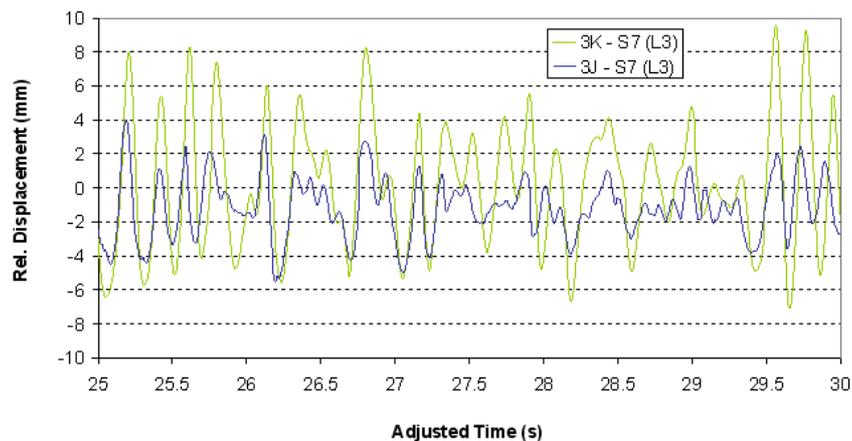


Figure 85 comparaison des comportements des deux modeles, source(www.dab.uts.edu.au/ebrf/research/articles.html.)

IV.4 La masse thermique

Il est reconnu que les bâtiments a forte inertie thermique amortie le transfert de chaleur. A l'université technologique de sydney Dr Kevan Heathcote, a entrepris une études comparative entre trois type de comstruction batie specialement pour l'essai, dont une est faite en brique de terre¹³⁴

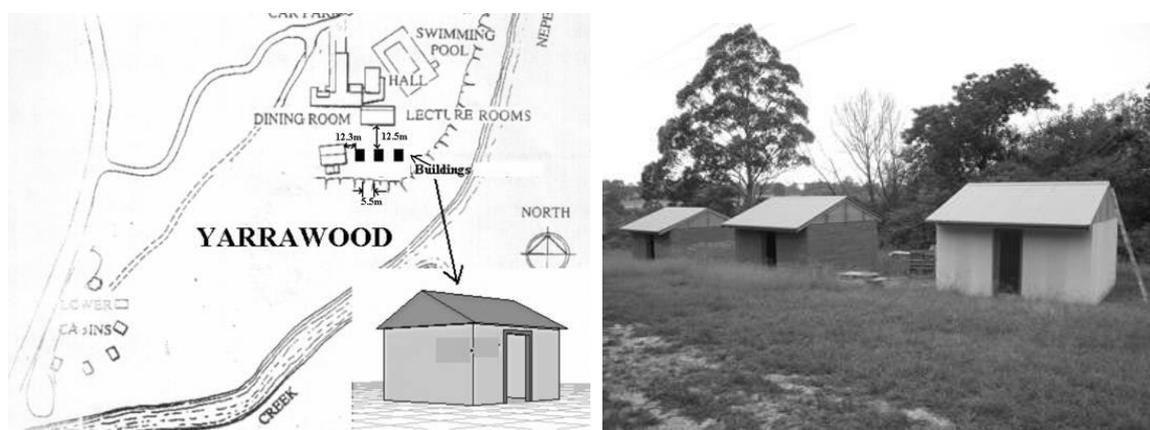


Figure 86 situation des trois echontillons

L'effet de la masse thermique est clair, sur la figure35, où le retard thermique pour le bâtiment –de brique de boue (la masse thermique élevée) était autour 4 heures. Ceci a été moins que prévu. Le retard thermique pour le bâtiment isolé de Hebel (la basse masse thermique) était autour 1 heure et pour le placage de brique autour 2 heures.

¹³⁴ Dr Kevan Heathcote , Comparative Analysis of the Thermal Performance of Three Test Buildings. mai 2007

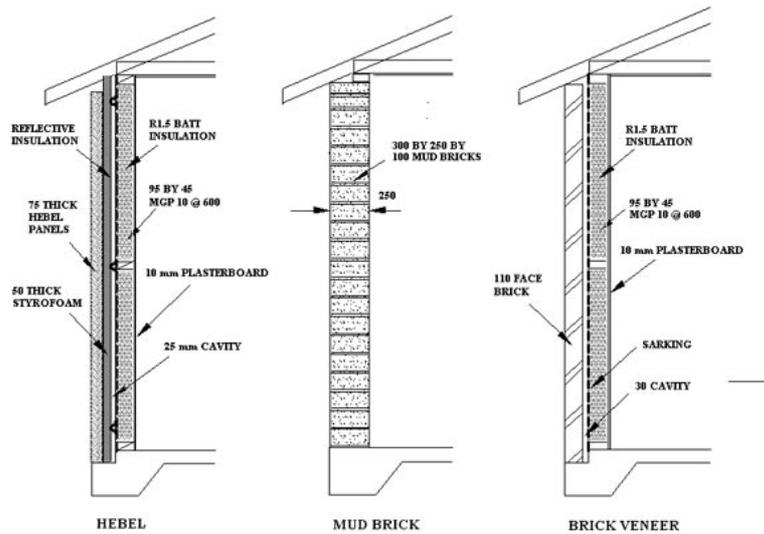


Figure -87 détail des différents murs

La plus basse température moyenne a été enregistrée pour le bâtiment isolé de Hebel (25.2°), pour le bâtiment de placage de brique elle été de (25.8°) par contre la plus haute était 26.6° pour le bâtiment de brique de boue.

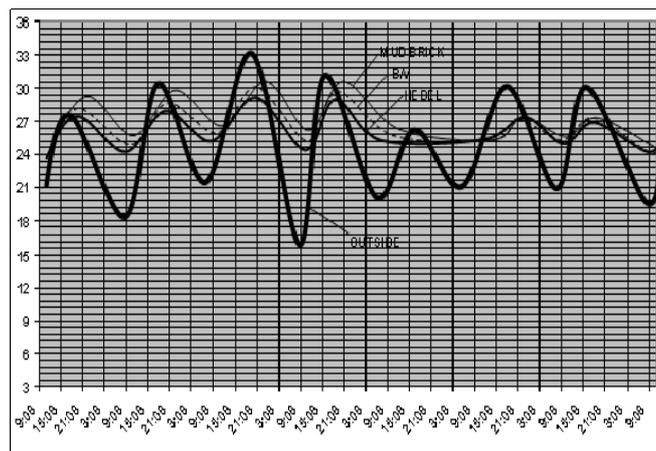


Figure -88 variation des T° des differents batisses

La différence globale de la température entre les trois bâtiments, durant le jour le plus chaud, n'était pas plus de 2 degrés pour la température maximale à l'intérieur des bâtiments, bien que les jours chauds la température moyenne dans tous les bâtiments ait été inacceptable. En vu du fait que les construction restaient fermées durant toute la période d'essai.

une autre etude, du Department of Architecture Middle East Technical University Ankara, Turquie en collaboration avec Environnement & Energy Studies Programme Architectural Association Graduate School Bedford Square, London¹³⁵

¹³⁵ F. Summers, Soofia T. E-Özkan, Ö Tuğrul Karagüzel and A. Berrin (turquie)& Simos Yannas and Mariana Gomez(London), A comparative study of building materials and construction techniques in Turkey, 23 conf (passif & low energy architecture) geneve suisse 6-8 sept 2006

A démontrée le potentiel thermique des matériaux, terre et terre paille, à maintenir une stabilité des températures et humidités à l'intérieures des espaces, en comparaison à d'autres matériaux contemporains.

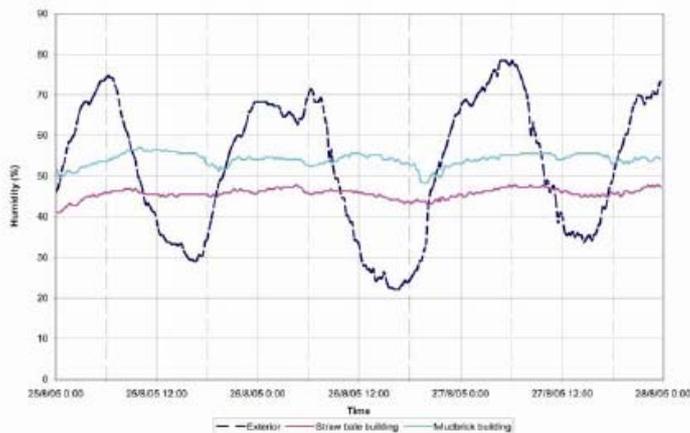


Figure 89 humidités mesurées des deux constructions: brique de terre & bottes de paille

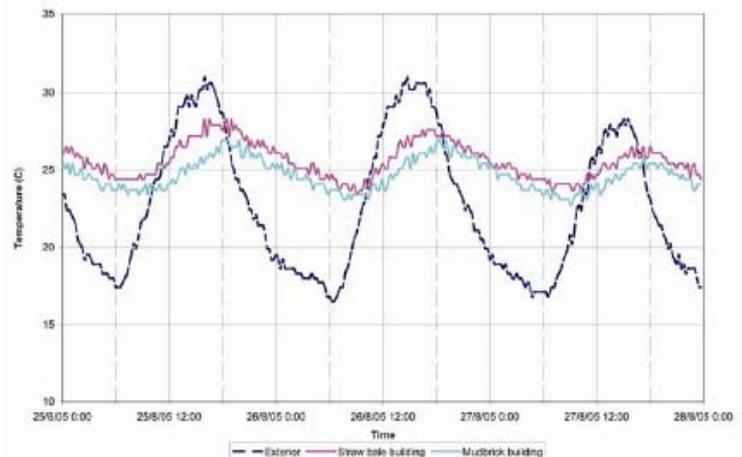


Figure 90 températures enregistrées dans les constructions: briques de terre & bottes de pailles

IV.5 Investigations :

Afin d'examiner l'état de la situation et de l'utilisation de la terre, une approche a été élaborée par un groupe de chercheurs espagnols¹³⁶.

Un nombre important de points ont été soulignés à savoir :

- * La construction en terre est ignorée et même sous-évaluée de nos jours, bien qu'un intérêt croissant apparaisse. Les individus intéressés travaillent indépendamment, et il y a seulement quelques corps de recherches ou centres d'information.

- * Un des problèmes, principaux, auquel doit faire face le matériau terre est le manque de personnes habiles, à tous les niveaux, des architectes aux constructeurs. Malgré que la construction en terre était très populaire il y a quelques décennies auparavant mais, aujourd'hui on l'oublie, et presque personne ne sait comment l'employer.

- * le matériau terre n'est pas inclus dans les règlements généraux de bâtiment de L'Espagne, ainsi toutes les étapes du processus de bâtiment deviennent peu familières.

Une autre recherche dans le même sens que la précédente a été entreprise en Zambie, par des chercheurs, K. Hadjri, M. Osmani, B. Baiche, and C. Chifunda, ses résultats ont été¹³⁷ :

- * La majorité d'interviewés ne préfère pas vivre dans les maisons de terre.

¹³⁶ M. Carmen Jimenez Delgado *, Ignacio Canas Guerrero, **Earth building in Spain**, fev2005 Elsevier

¹³⁷ K. Hadjri, M. Osmani, B. Baiche, and C. Chifunda, Attitudes towards earth building for Zambian housing provision, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Loughborough university, Aout 2007

*Un certain nombre d'attitudes sociales doivent ainsi être dressées à savoir : la publicité, consultations et réalisation projets de démonstration publics.

* En plus, les stages de formation courts et les ateliers aideraient les concepteurs, entrepreneurs et lotisseurs à indiquer et employer la terre dans le logement .

* Il y a également, un besoin de recherche et de performance technique de la terre, et d'amélioration de conception et de construction pour dresser les facteurs limitateurs de l'esthétique, de l'exécution et de l'entretien.

* Adopter de nouveaux codes de pratique et normes afin de favoriser l'utilisation de la terre dans la construction.

Néanmoins, incitations et information nationales et internationales sont nécessaire pour convaincre toutes les parties des avantages de la terre comme matériau de construction viable.

Les intérêts déduits de cette étude sont :

(a) l'établissement de transfère de connaissances en associations avec les pays où le bâtiment en terre est normalisé et utilisé avec succès.

(b) études complètes sur l'accessibilité de la construction de la terre.

(c) la promotion de la recherche sur la conception et l'exécution des matériaux de la terre et des techniques de construction.

(d) expériences sur la stabilisation et la fabrication de bloc de la terre pour le logement peu coûteux.

(e) le développement des codes et des normes de bâtiment de la terre.

(f) les amendements de normalisation des procédures de construire des bâtiments de terre.

(g) la formulation des stratégies nationales à favoriser et la diffusion d'utilisation de la construction en terre par la publicité, recherche et développement, formation et projets pilotes

(h) mécanismes pour l'exécution des stratégies nationales, y compris la formation dans la construction en terre à tous les niveaux (professionnel et professionnel)

(i) le développement des politiques de durabilité pour encourager l'utilisation de la terre comme matériau de construction.

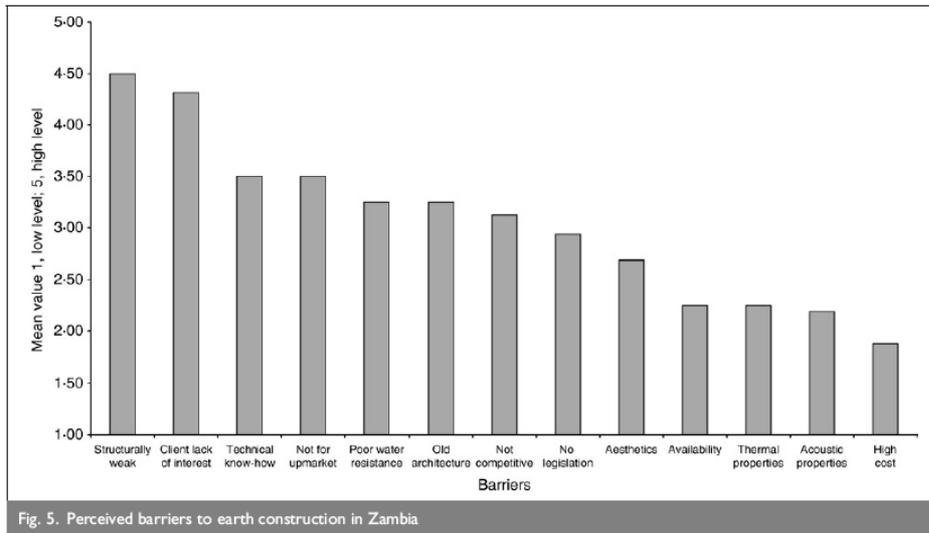


Figure 91 Barrières rencontrées par la construction en terre en Zambie

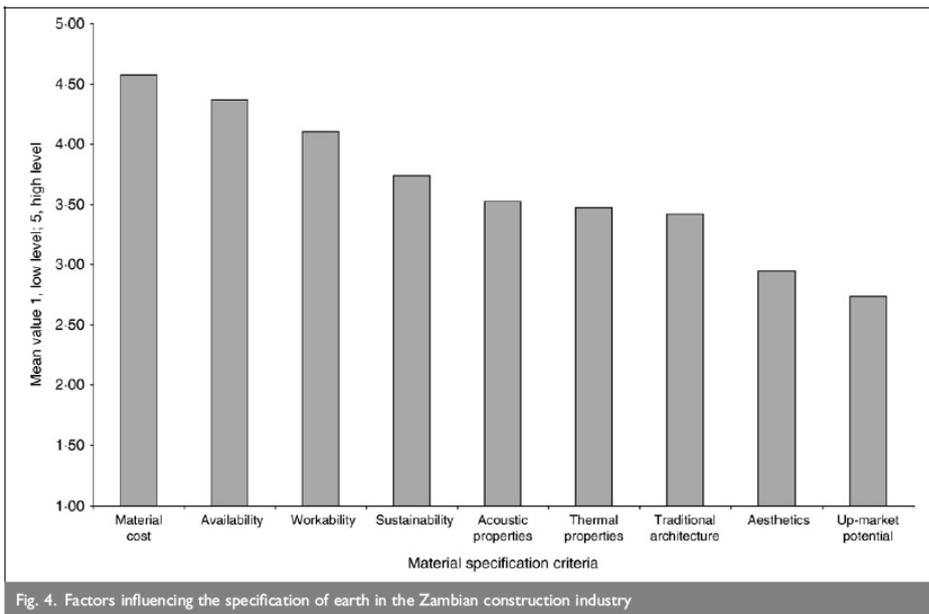


Figure 92 facteurs influents la spécification de l'industrie de la construction en terre en Zambie



Figure 93 Etat vétuste d'une construction en terre ancienne, en Espagne

Conclusion :

Ce chapitre a présenté une vue d'ensemble sur la connaissance disponible sur les performances du matériau terre et sur les méthodes d'évaluation du confort thermique et d'amélioration des caractéristiques physico-chimiques de la terre.

Les études existantes ont fourni la connaissance de base sur les qualités du matériau terre et ses potentialités, à réaliser le confort thermique, ainsi que les possibilités d'évoluer les techniques et les procédés.

Nous pouvons en déduire ce qui suit :

- L'hypothèse que les constructions en terre sont meilleures que les constructions conventionnelles n'est pas toujours vérifiable.
- Le matériau terre présente une bonne résistance thermique par son inertie.
- Il est recommandé d'associer des procédés passifs aux constructions en terre afin de mieux améliorer ses caractéristiques dans le but de minimiser ses faiblesses.
- Le matériau terre doit faire objet d'une relance basée sur : la publicité, la formation de main d'œuvre qualifiée, normalisation des procédés techniques, et en fin la construction de modèles à grand échelle pouvant effacer la mauvaise image qui lui colle depuis l'apparition des nouveaux matériaux.

V INVESTIGATIONS

INTRODUCTION :

L'architecture de terre demeure une des formes architecturales que les sociétés antiques adaptèrent pour leur habitat, vu sa capacité de résistance thermique et hygrométrique, de là son adaptation au climat aride et semi aride s'est avéré important, mais on la trouve comme même utilisée chez les sociétés nordiques tel en France, Allemagne et Espagne...etc.

Afin de mener à mieux notre recherche, la présente investigation nous permettra d'explorer le rôle de la terre comme matériau de construction à concrétiser le confort thermique, et ce dans des conditions estivales défavorables. L'épaisseur des parois aura t-elles, un effet positif à retarder le transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur.

Plusieurs témoignages, de personnes qui ont vécu dans les anciennes maisons (traditionnelles) faites de terre, pierres et autres matériaux locaux, attestent que ces dernières sont confortables en été et en hiver.



Figure 94 vue d'une dechrat aurasienne faite purement en terre et matériaux locaux (source: Auteur) année2008

L'épaisseur des murs ainsi que les stratégies adoptées dans des constructions traditionnelles sont les principaux facteurs passifs contribuant au confort thermique.



Figure 95 les épaisseurs consistants, des murs, un facteur stratégique (source : Auteur)année 2008

Cette investigation sur terrain consiste à vérifier l'importance du matériau terre crue associée à d'autres matières locales, tel le bois sur le confort thermique intérieur.

Ce travail de terrain est mené sur une maison traditionnelle située au sud ouest des Aures dans la commune de ouled ammar, à proximité de la ville de Barika.

La maison, objet de l'investigation, est construite en terre crue, au cours des années soixante, reste toujours fonctionnelle et sûre. Ce qui confirme le fait de la durabilité du matériau terre face aux conditions climatiques agressives.

V.1 Présentation du cas d'étude:

Pour mener notre investigation à point, nous avons choisi une maison faite uniquement en terre « figure102 ». Parmi les pièces de la maison, nous avons sélectionné celle, réservée, aux invités, pour sa situation excentrique convenable, et son orientation au sud-est.



**Figure 96 : 35° 30 N & 5° 09 E, situation géographique du lieu d'investigation
(Source : google earth) année 2008**

La pièce des invités : faite de briques de terre crue, confectionnées sur les lieux même de la construction, l'épaisseur des murs est de 60cm sa surface est de 42,16m². La hauteur est de 3,26m. Le toit, composé de branches et troncs d'arbres compactés par-dessus, est légèrement incliné pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales. Selon les déclarations des occupants notamment le vieil homme, qui a participé à la construction, la maison reste toujours solide et connaît des travaux d'entretien périodiques à chaque fois que c'est nécessaire. La construction date depuis les années soixante.

La pièce a deux fenêtres et une porte en bois sur le même mur, orienté au sud-est, il est à noter que les fenêtres sont dépourvues de vitres.



Figure 97 détails sur les ouvertures de la pièce d'invités

V.1-1.1 composition spatiale et mode d'habiter:

L'habitation à un seul niveau plus de 3,00 m de hauteur. Elle est constituée de plusieurs volumes organisés autour d'une cour principale. Les pièces situées à l'extérieur sont destinées aux invités, comme nous trouvons aussi l'étable réservée au troupeau. Le périmètre de la maison est matérialisé par des arbres dont le but est de protéger les occupants des regards des voisins, et des vents violents.

V.1-1.2 éléments constructifs :

a. fondations :

D'après les enquêtes effectuées, et les personnes interviewées, la majorité des habitations traditionnelles sont construites sur les fondations en pierres. Elles sont peu profondes, ne dépassant pas 40 cm -50 cm de profondeur. Leurs largeurs varient entre 50 et 70cm.

Dans d'autres cas, les fondations sont réalisées avec quelques assises de pierres sèches ou maçonnées avec un mortier de terre. Elles peuvent constituer toute la fondation, ou simplement la base du mur en adobes. Voir Fig. 66

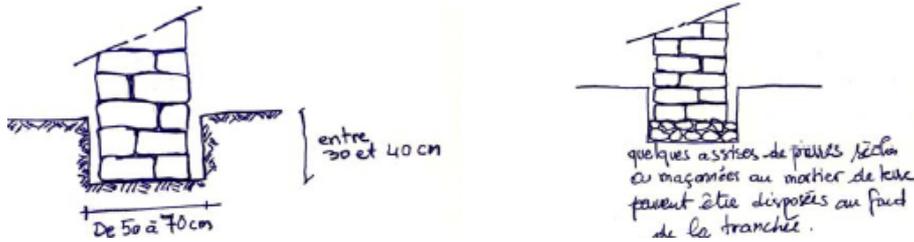


Figure 98 types de fondations en pierres ancrées jusqu'a 50cm dans le sol (source auteur)

b. éléments porteurs :

Les murs de pierres sont porteurs, ils atteignent 40 et 60cm d'épaisseur. Le calepinage diffère selon l'épaisseur des murs, deux variantes ont été remarquées.

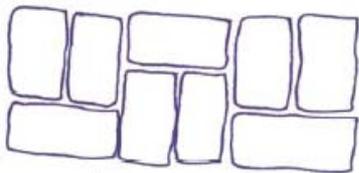


Figure 99. Type de mur porteur en briques de terre , confectionnées sur site

c. **Planchers :** Les planchers sont constitués de poutres en bois posées sur toute l'épaisseur des murs en TERRE et parfois débordantes de quelques centimètres.

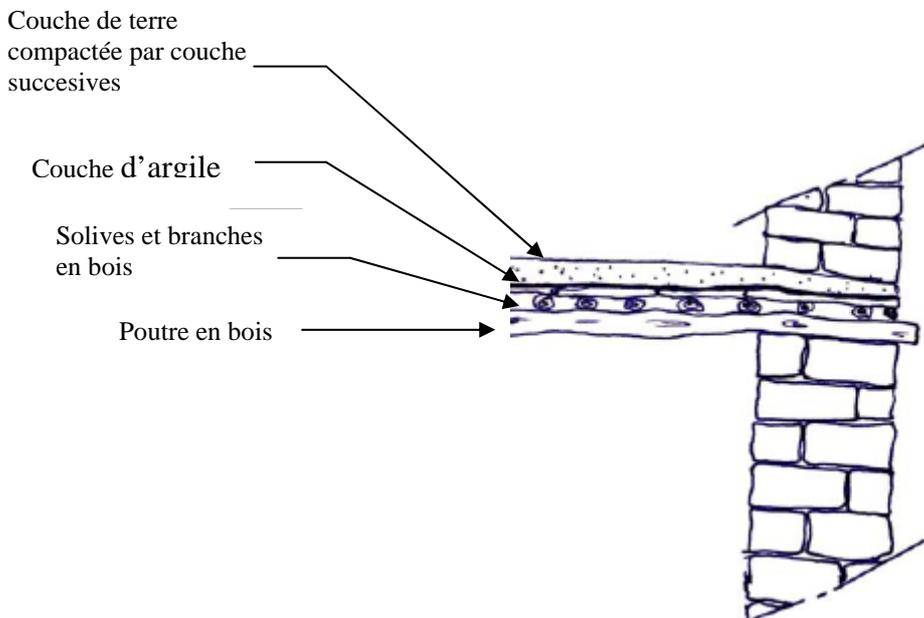


Figure 100 Détail de plancher pour une maison traditionnelle (source Auteur)

Sur ces Poutres reposent des solives en bois de pin d'Alep, sur lesquelles sont posés des joncs, ou des branches attachés puis recouvertes par une couche d'argile servant d'étancheite. Voir Fig 68



Figure 101 détail du plafond de la pièce objet de l'investigation, compose d'elements en bois.



Figure 102 vue générale de l'état de la maison source : auteur)

Les mesures se sont prises en période estival, au début du mois d'août et durant trois jours, caractérisées par des températures très élevées et des humidités très sèches, ce qui nous à permis d'analyser le sujet à des conditions climatiques très sévères.

V.2.1 APPAREILS DE MESURE :

Les appareils de mesures utilisés pour relever les températures et les humidités relatives internes et externes, et les mesures de températures surfaciques intérieures et extérieures sont:

V.2.2 **Le multimètre**, utilisé pour mesurer les températures intérieures ,extérieures et surfaciques intérieures et extérieures, à l'aide d'une sonde, sur trois points différents du mur.



Figure 103 Multimètre & thermomètre utilisés pour mesurer les températures (intérieure et extérieure), surfaciques et la température de l'air.

V.2.3 **Des thermomètres ordinaires**, pour enregistrer les températures externes et les températures intérieures

V.2.4 **Scénario Et Déroulement Des Mesures:**

La période de mesure s'est déroulée pendant le mois d'Août, et cela durant trois jours. La pièce d'invités, objet de l'investigation, a été occupée durant toute la période par l'auteur et une autre personne.

- En cette période, le climat s'est caractérisé par des températures extérieures très élevées atteignant 46°C, et une humidité relative extérieure très basse. On note, aussi, l'absence¹³⁷ presque totale de vents.
- Au début de soirées, les propriétaires arrosent la petite cour devant la chambre, ce qui contribue à créer une sensation de confort, en plus d'une ambiance familiale caractérisée par une réunion en plein air.
- Une très légère brise de vent est ressentie au environ de 23h à 4h00 du matin.
- La porte de la pièce, objet de l'investigation, est restée ouverte tout au long de l'investigation, dans le but de permettre une ventilation intérieure. À l'inverse, les fenêtres sont restées fermées.

Les mesures des valeurs de températures et d'humidité sont prélevées au centre de la pièce à une hauteur de 1,20m, les températures surfaciques sont prélevées sur le mur orienté au sud-est, sur trois points différents de l'intérieur comme à l'extérieur.

NB : aucun instrument de ventilation ou de climatisation n'est utilisé durant l'investigation.

V.2.5 ANALYSE DES FACTEURS CLIMATIQUES DE LA REGION

Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines. Son influence sur notre vie est très grande. Aussi faut t-il l'observer, l'étudier pour le connaître et le quantifier. IL existe de grands écarts de températures entre l'hiver et l'été. L'amplitude des variations thermiques annuelles, peut dépasser 23°C, les mois de juin ; juillet et août, les mois les plus chauds. Les précipitations représentent le facteur le plus important tant pour les humains que pour les écosystèmes, ce qui explique les résonances exceptionnelles que prennent les anomalies qui affectent ce paramètre.¹³⁸ Les précipitations sont caractérisées par leurs faiblesses et leur extrême variabilité. Il se peut qu'elles soient violentes et ravageuses. Mais des pluies diluviennes peuvent aussi se produire.

¹³⁸ Boucheref djamel, variabilité et changement climatique au Sahara, habiter les déserts, séminaire international, ghardaia Dec 2006.

de la ville de Barika en période 95-99 autour 2007

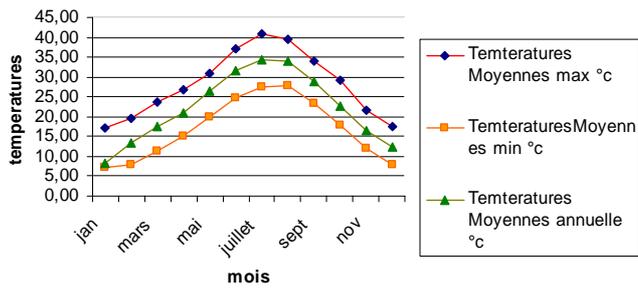


Fig 104 variation des températures annuelles de la ville de Barika en période 95-99 autour 2007

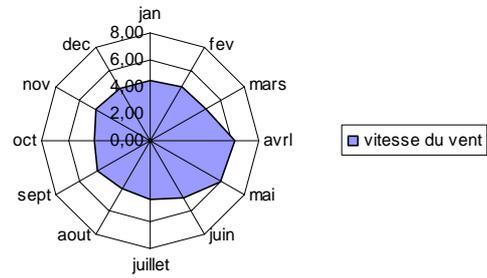


Fig 105 Variation des vents au court de l'année de la ville de Barika en période 95-99 autour 2007

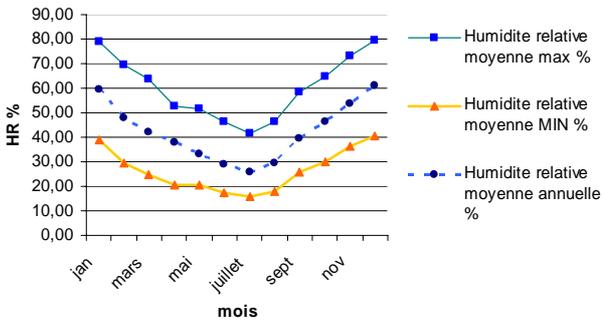


Fig 106 Variations des humidités de la ville de Barika en période 95-99 autour 2007

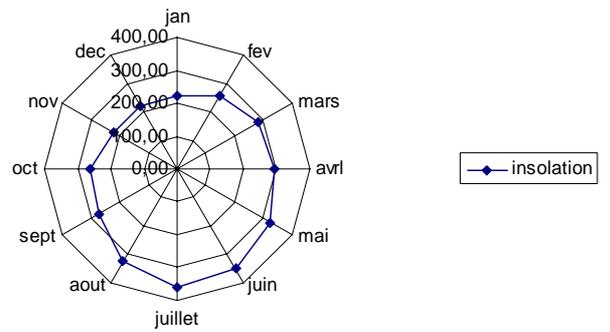


Fig 107 variations de l'insolation annuelle

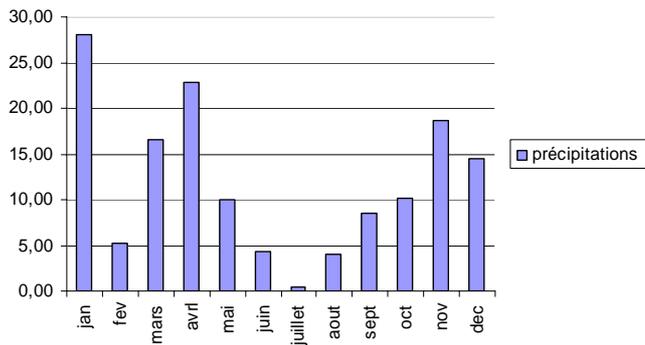


Fig 108 variation des précipitations annuelle

V.4. Interprétation des résultats :

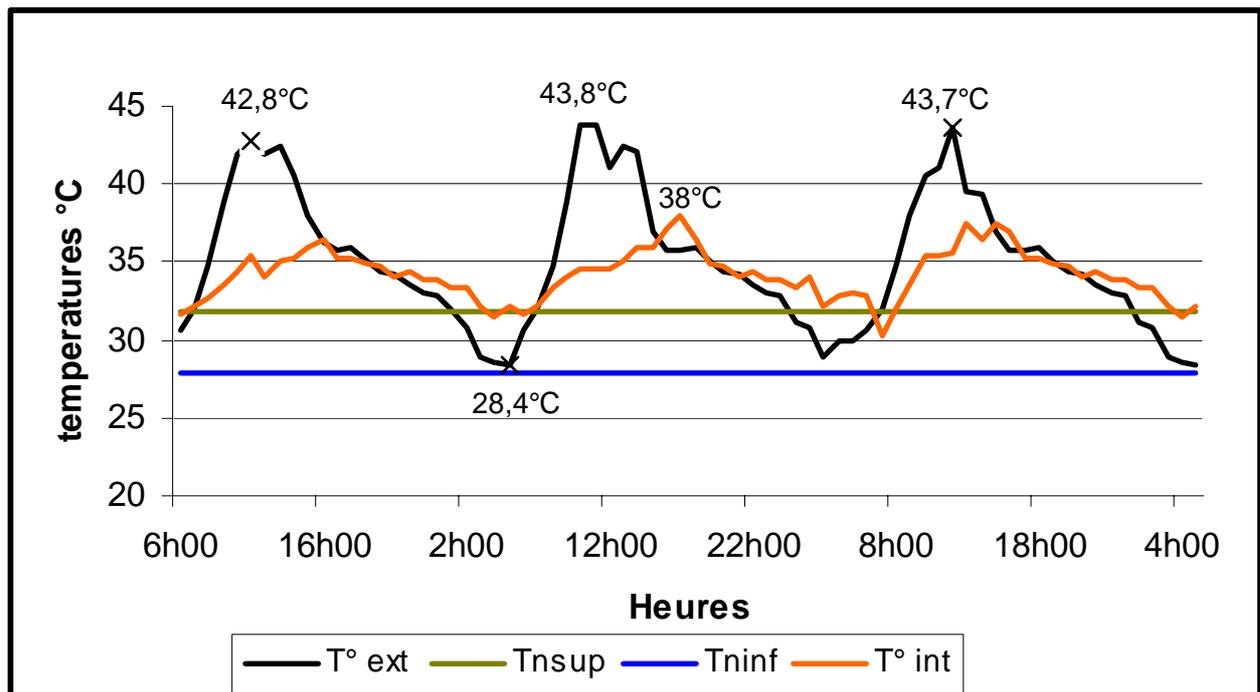


Figure 109 variations des températures au long de la période d'investigation

Le graphe sur la fig.79 représente l'évolution de la variation des températures intérieures et extérieures. On remarque à première vue que la courbe des températures intérieures, ne suit pas celle de l'extérieure, elle se décale nettement.

Pendant cette période d'investigation, la température extérieure a variée de 28,4°C à 43,8°C avec une moyenne de 35,1°C et une amplitude de 15,4°C. Les températures intérieures ont variées de 30,3°C à 38,0°C, avec une moyenne de 34,2°C et une amplitude de 7,7°C. La courbe des températures intérieures qui varie très lentement malgré les fortes chaleurs (T° ext), enregistrées durant la période de l'investigation. On remarque, aussi, que les températures intérieures nocturnes sont bien au dessus de celles de l'extérieur, avec un écart de 3,1 °C comme nous constatons aussi, sur le graphe, qu'une période des T° ext allant de 01H00 à 06h00, est bien incluse dans la zone de confort, ce qui explique le comportement des occupants à rester, pendant la nuit, à l'extérieur afin de profiter de cette écart de températures, et du vent de brise qui viens renforcer l'écart entre le climat intérieur et extérieur.

Le déphasage entre les deux courbes atteint 6h00, de temps. Certes, le comportement des parois en terre crue à jouer le rôle de retardataire de transfert du flux

thermique extérieur vers l'intérieur, il est notable que la forte sécheresse a eu un effet néfaste d'une manière générale, mais le déphasage obtenu reste, légèrement, réduit.

V.4.1 **Variations des températures et humidités relatives, intérieures et extérieures :**

D'après le graphe ci-après, Fig80, représentant les variations des températures et humidités d'une journée type, nous constatons que la variation des températures intérieures n'est pas sensible aux variations extérieures. Les valeurs des T° int et ext restent nettement au dessus de la zone des T° neutres (sup. et Inf) ceci explique le degré de sécheresse auquel le bâti est exposé.

En période diurne, les températures extérieures varient de 30.6°C , à 6h00 du matin, jusqu'à atteindre leurs maximum de 43.8°C à 11h00, soit une amplitude de 12.1°C en 05h de temps, en plus, les mesures d'humidités relatives prélevées, sur cette même période, ne cessent de décroître, de 23.8% à 6h00 jusqu'à 15.3% aux environs de 11h00.

Pour les mesures des températures intérieures, nous constatons clairement la lenteur de leurs croissance, de 31.7°C à 6h00 jusqu'à 38° max à 17h00, soit une amplitude de 6.3°C en 11 heures de temps, soit le double de l'amplitude extérieure, ceci est dû au retard dans le transfert thermique à travers les parois en terre crue (murs et toits), caractérisées par leurs forte inertie thermique. Ainsi, sous des variations périodiques des conditions extérieures, et avec des différences de températures et une résistance thermique données, le flux de chaleur transmis à l'intérieur décroît lorsque la capacité calorifique de sa structure croît¹³⁹.

La perturbation des mesures des humidités, enregistrées est causée par le fait que la porte est restée ouverte durant toute la période d'investigation.

Pour ce qui est du décalage entre les deux courbes de températures, la $T^{\circ}\text{max ext}$ enregistrée à 11h00 du matin, alors que la $T^{\circ}\text{max Int}$ à été enregistrée à 17h00 soit un déphasage de 06 heures. Ce rétrécissement de la période de déphasage peut être expliqué par :

- la porte d'entrée qui est restée ouverte tout au long de l'investigation, a permet l'entrée de l'air chaud de l'extérieur sans qu'il puisse être évacué par ventilation. cette stagnation de l'air chaud à l'intérieur augmente la température intérieure.

¹³⁹ B.Givoni, L'Homme l'architecture et le climat, Ed Moniteur, 1978, P 150

- L'enveloppe de la pièce, malgré l'épaisseur des murs de 60cm, représente une perméabilité solaire importante, est à découvert et exposée au rayonnement solaire, ce qui a permis un apport énergétique important. Cela a été la cause majeure.¹⁴⁰

Donc, plus l'enveloppe est exposée à l'extérieur, plus les gains énergétiques sont importants.¹⁴¹

Pour les humidités nous remarquons une perturbation sur la courbe des humidités intérieures, à cause de l'air chaud et sec qui s'infiltré par la porte, qui est restée ouverte.

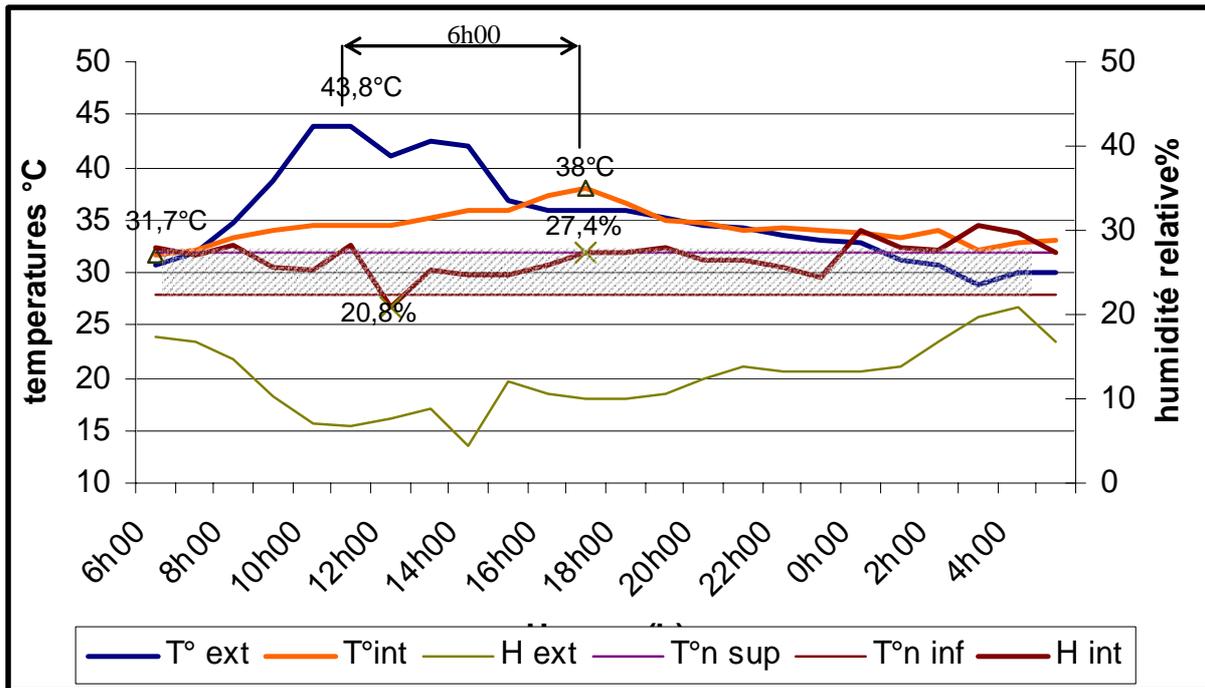


Figure 110 variation des températures et humidités, intérieures et extérieures

La différence entre les valeurs d'humidités intérieures et extérieures est bien plus importante. malgré la sécheresse à l'extérieur. A l'intérieur règne une humidité bien plus supérieure à celle de l'extérieur. Le matériau terre a la capacité de restituer l'humidité absorbée en cas d'assèchement¹⁴².

¹⁴⁰ **Bennadji amar** Adaptation climatique ou culturelle en zones arides, thèse de doctorat P115, université d'aix-marseille1, présentée en 1999.

¹⁴¹ **Akubue Jidefor Anselm**, Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing, Huazhong University of Science and Technology, china publiée en Nov 2007 www.sciencedirect.com

¹⁴² **B.Littel & Morton.T** Building with earth in Scotland Ed inburgh 2001 P12

V.4.2 Variations des températures surfaciques :

D'après la lecture du graphe, sur Fig. 81, les températures surfaciques extérieures varient entre 30.0°C et 46.4°C ou la valeur minimale est enregistrée à 6h, et la maximale à 11h avec une amplitude de 16.4°C sur un intervalle de 5 heures, cette croissance rapide est due principalement à l'orientation de la parois au sud-est avec azimuth-30°, c'est adire que c'est à partir de 6h00 du matin, l'heure ou le mur commence à recevoir les rayons solaires, et accumule l'énergie, jusqu'à 13h00, l'heure ou on a noté un début d'ombrage progressif de la surface du mur. Alors que l'amplitude des températures de la surface interne n'est que de 1.5°C, la température surfacique intérieure atteint sa valeur minimale de 33°C à 6h00, et sa valeur maximale de 34.5°C à 17 h00. La transmission thermique, par rayonnement, du mur n'est pas sentit car le matériau terre à la capacité d'accumuler et d'absorber l'énergie sans la renvoyer par rayonnement. Le plancher, le plafond et les murs absorbent la chaleur pendant la journée et contribuent à baisser la température intérieure.¹⁴³

Une baisse des valeurs surfaciques extérieures est constatée à compter de 11h00, c'est la période d'ombrage ou l'incidence des rayons solaires perd de leur effet. Par conséquent l'énergie accumulée en période diurne sera transmise à l'intérieur, seulement, la vitesse à laquelle sera transmise dépendra de la masse thermique, ce qui est nettement remarquable dans notre cas d'étude.

Par contre, les températures surfaciques intérieures augmentent lentement et colles presque aux températures intérieures malgré les fortes chaleurs enregistrées à l'extérieur ce qui démontre, bien, la performance des parois à accumuler la chaleur, et à la dissipée lentement.

A cet effet, on peut déduire que la température de l'air extérieur et la température surfacique extérieure sont liées par un processus de rayonnement¹⁴⁴.

V.4.3 Conclusion : À travers l'analyse des données climatiques mesurées durant toute la durée de l'investigation, nous pouvons constater ce qui suit :

- un bon comportement de la terre comme matériau de construction, face aux conditions climatiques caniculaire, par sa forte inertie thermique, malgré les températures intérieures sont restées en dehors de la zone de confort.

¹⁴³ P. Taylor , M.B. Luther, Evaluating rammed earth walls: a case study, Aout 2003

www.sciencedirect.com

¹⁴⁴ Ibid.

- l'exposition des parois aux rayons solaires et l'absence de la ventilation, influent sur les températures intérieures.
- Une différence de température ($T_e - T_i$) = 9,3°C en, une, heure critique de la journée, ce qui est considéré comme une performance thermique. .

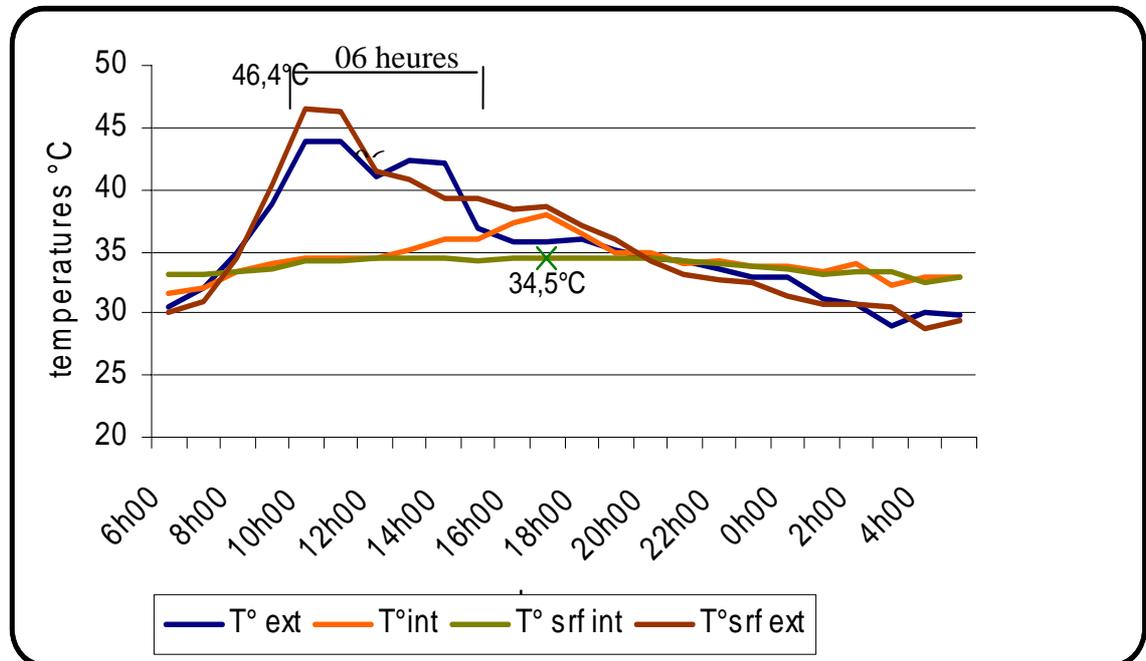


Figure 111 variations des températures surfaciques intérieures et extérieures

V.5. SIMULATION

V.5.1 Introduction:

la simulation permet de valider rapidement des options fondamentales (implantations, structure, ouvertures..), d'explorer et de commencer à optimiser certains choix pour un meilleur confort.¹⁴⁵

L'évaluation par simulation est modulable, elle offre un champ libre tout en agissant à volonté sur les éléments de la construction, afin d'évaluer les performances thermiques de cette dernière. Pour évaluer notre bâtiment, on a utilisé le logiciel ECOTECT, qui permet de tester selon le mode conventionnel, le comportement thermique global du bâti et de son environnement. Ceci, afin de valider les résultats des mesures du terrain, et de tester des

¹⁴⁵ - CHATELET.A – FERNANDEZ.P- LAVIGNE.P- Architecture Climatique -une contribution au développement durable. EDISUD1998. Page.133.

composantes d'autres matériaux tel : terre paille, afin de chercher une meilleure performance thermique.

V.5.2 Description du logiciel :

ECOTECT est un programme principal d'analyse de bâtiment qui permet, aux concepteurs de travailler facilement en 3D et appliquer tous les outils nécessaires en un temps efficace.

La version 5,50 d'ECOTECT représente une mise à jour significative et ajoute beaucoup de nouveaux dispositifs et améliorations.

Le logiciel compte une série d'outils d'analyse et de traitement de données à savoir :

- weather manager est un outil libre de logiciel pour la création, la conversion et la gestion des fichiers de données, étroitement composés utilisés par ECOTECT et autre logiciel.

-Sun tool étudie des positions du soleil, ombrageant et éclipsant tout au long de l'année. il commande fondamentalement l'affichage de diagramme du chemin de soleil dans la toile principale de graphiques.

- weather tool permet de visualiser, analyser et éditer des données horaires de temps.

Il identifie un éventail de formats internationaux de dossier de temps comme des formats faits sur commande personnalisés par l'utilisateur d'importation de données pour des fichiers ASCII. Il fournit également un éventail d'options d'affichage, y compris des 2d et les graphiques 3d aussi bien que des roses de vents et des diagrammes du parcours solaire.

Le traitement psychrométrique permet d'obtenir enfin un mécanisme unique pour évaluer le potentiel relatif de différents systèmes de conception passifs. l'analyse solaire de rayonnement permet alors exactement de déterminer des orientations optimal pour des critères spécifiques de conception de bâtiment. Le résultat est pré-conçu, l'outil d'analyse est une nécessité pour tous les architectes, concepteurs et planificateurs urbains intéressés à la conception bioclimatique.

Comme il comporte aussi le module ANALYSE, qui permet une analyse plus élargie de la thermique à l'acoustique en passant par l'analyse solaire, coûts des matériaux et la consommation des ressources.

V.5.3 Déroulement de la simulation :

A partir des données architecturales et des propriétés thermo physiques du matériau une analyse du comportement thermique de l'habitat est effectuée à l'aide du logiciel « ecotect v5.5 »

Le déroulement de la simulation a pris comme cheminement :

- chargement des données climatiques de la région et introduction des spécificités du site (azimut, altitude, localisation du site etc....).
- construction des éléments architecturaux du bâti tout en tenant compte des caractéristiques thermiques et physiques des matériaux qui le composent. ainsi que, les scénarios de la pratique de l'espace.
- Selon l'objectif de la recherche par la simulation, on s'est limité à l'évaluation de la température intérieure de la zone d'étude.
- Proposition de solution, en agissant sur les matériaux de constructions écologiques (ex : terre paille) pouvant donner de meilleurs performances.

V.5.4 Comparaison entre températures mesurées et calculées par ECOTECT V5.5 :

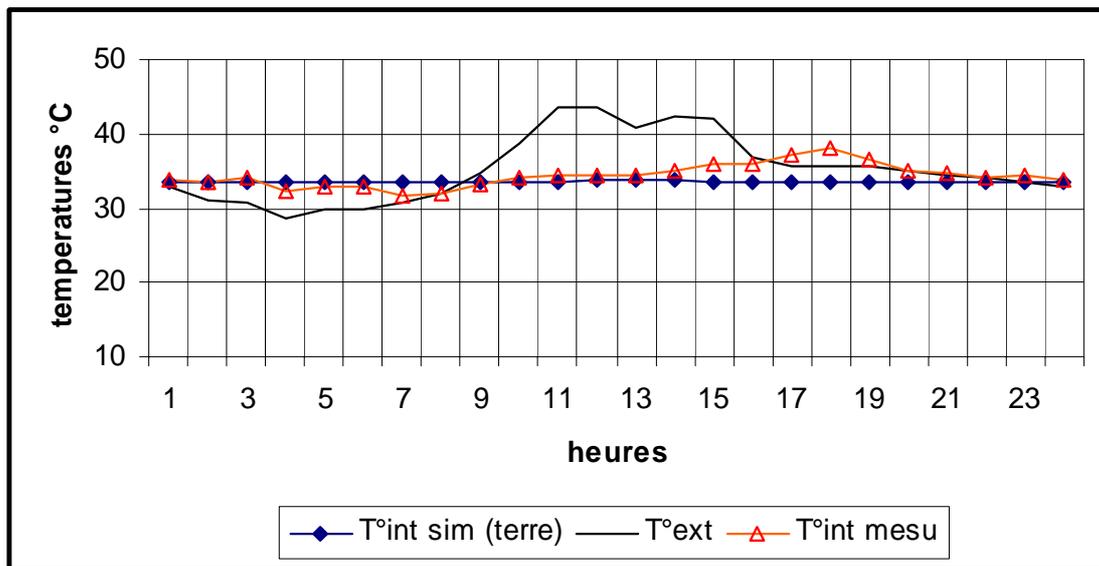


Figure 112 Comparaison des températures mesurées et simulées

Les résultats montrent une correspondance entre les courbes des températures horaires mesurées et celles simulées.

Les températures intérieures obtenues par simulation révèlent une élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée par rapport au cas mesuré. Nous pouvons constater sur le graphe ce qui suit :

- la courbe des températures simulées est bien plate.
- Les écarts de températures intérieures obtenus par simulation sont proches de ceux obtenus par mesures, notamment en période nocturne, ou les deux courbes s'atténuent progressivement jusqu'à ce qu'elles finissent par s'égaliser. Contrairement, en période diurne, l'écart des températures est bien visible entre les deux courbes et atteignent 4,5°C à 18h00, cela peut être justifié par l'intervention de l'utilisateur en maintenant l'espace ouvert durant cet intervalle de temps pour des raisons pratiques.

a. Confort thermique :

Le logiciel ECOTECT offre un outil qui permet le choix d'une stratégie de refroidissement Passive, en fonction des mesures plot tees sur la diagramme psychrométrique. La figure Ci-dessous, montre la nécessité d'entreprendre une stratégie passive, et une ventilation passive afin de pouvoir rafraîchir le climat intérieur.

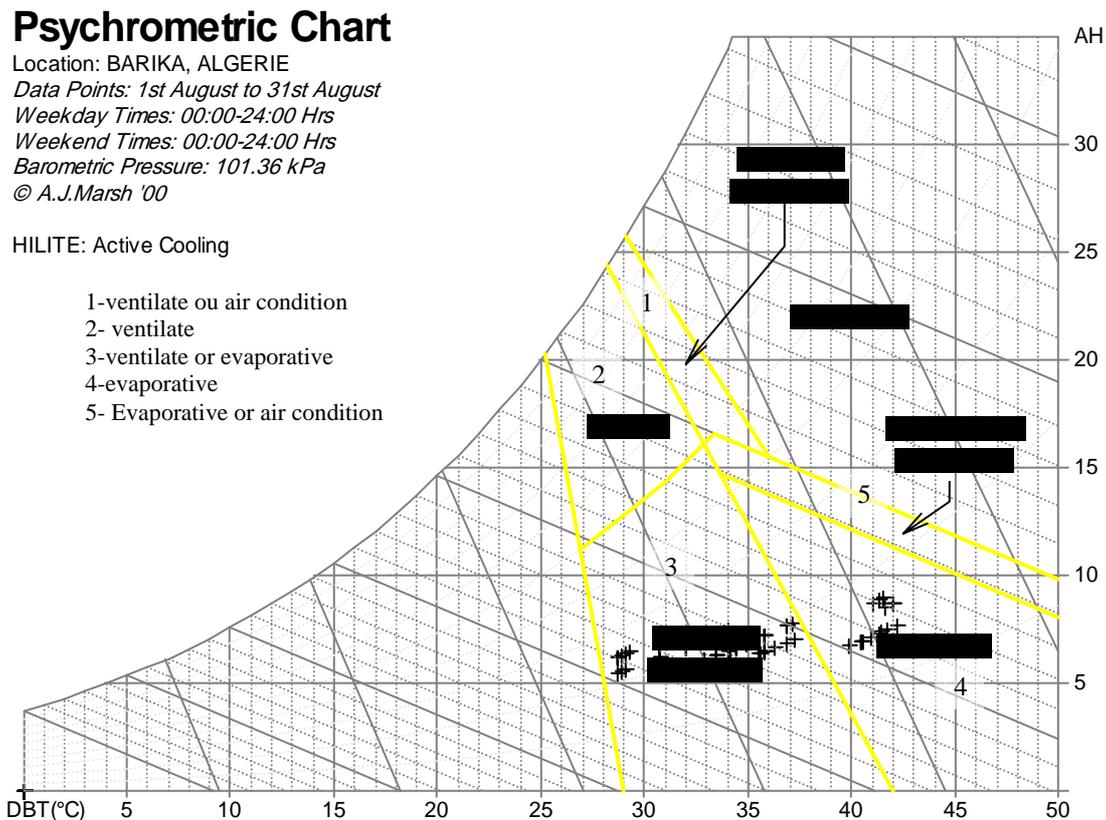


Figure 113 :charte psychrométrique montrant les stratégies passives relatives au cas étudié.

Psychrometric Chart

Location: BARIKA,
 Data Points: 1st August to 31st August
 Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
 Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
 Barometric Pressure: 101.36 kPa
 © A.J.Marsh '00

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation
5. direct evaporative cooling
6. indirect evaporative cooling

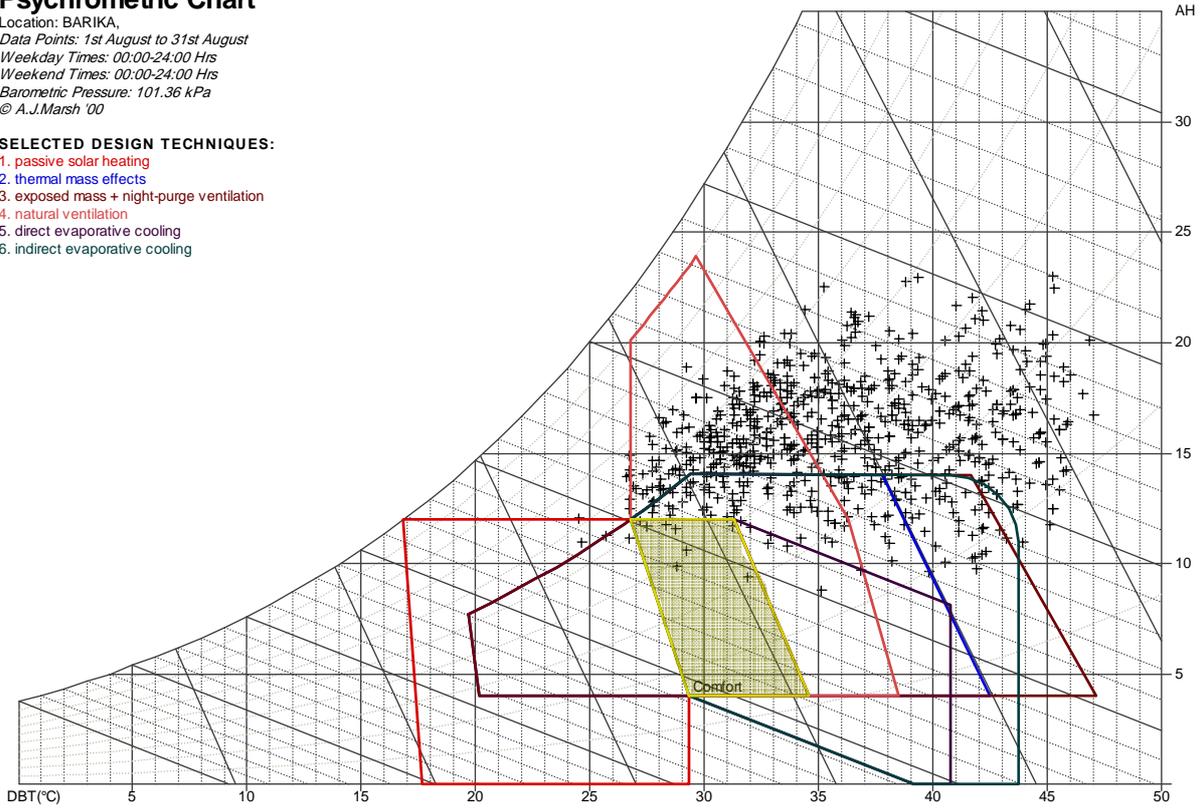
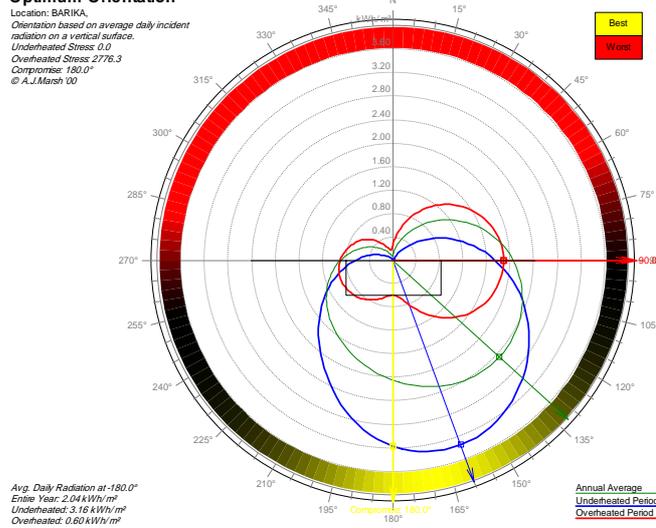


Figure 114 Zone de confort, et techniques passives, en fonction des T° et humidités pour le mois d’août

Ce diagramme est donné par l’outil weather tool v1.2, sur lequel nous constatons bien que la majorité des points portés sur le diagramme sont en dehors de la zone de confort, ceci explique le caractère agressif du climat en été de la ville Barika. Les techniques recommandées sont : la ventilation naturelle, la purge d’air nocturne, et effet de masse thermique.

Optimum Orientation

Location: BARIKA,
 Orientation based on average daily incident radiation on a vertical surface.
 Underheated Stress: 0.0
 Overheated Stress: 2778.3
 Compromise: 180.0°
 © A.J.Marsh '00



Avg. Daily Radiation at 180.0°
 Entire Year: 2.04 kWh/m²
 Underheated: 3.16 kWh/m²
 Overheated: 0.60 kWh/m²

Annual Average
 Underheated Period
 Overheated Period

Le même outil (weather tool), nous a permis de déterminer la meilleure orientation, relative aux données climatiques.

V.5.5 Amélioration Du Matériau Par La Paille (Terre Paille) :

Malgré la performance du matériau terre, les résultats obtenus, précédemment, montrent une insuffisance à atteindre un confort thermique souhaitable. pour améliorer le comportement du matériau terre, nous allons le tester en association avec la paille, Terre-Paille, ce mélange a connu une grande apogée, notamment en Europe, pour toutes ses caractéristiques et avantages sur le plan environnementale et énergétique. Cette deuxième simulation, par ECOTECT v5.5, du même sujet dans les mêmes conditions, va nous permettre de voir la différence entre les deux matériaux.

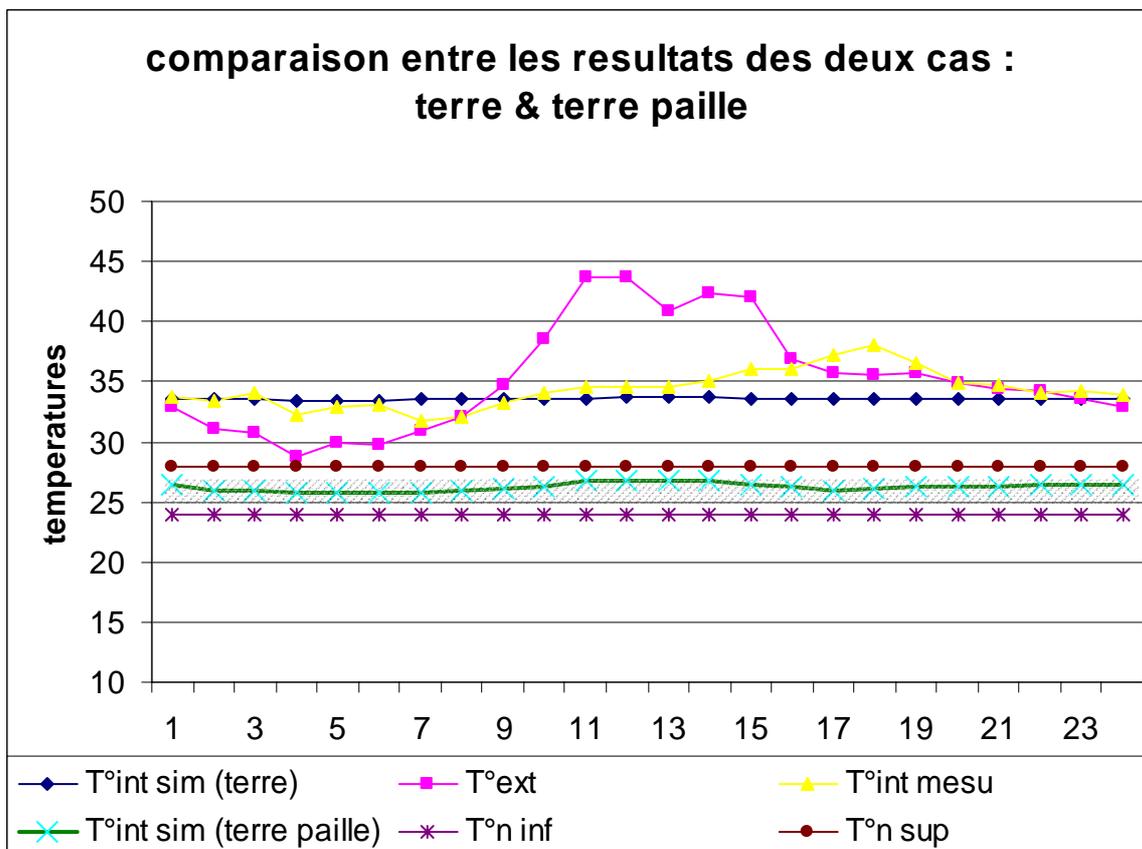


Figure 115 comparaison entre les températures relatives aux deux cas : terre & terre paille

A première vue, nous distinguons que la courbe des résultats par simulation du matériau terre paille est incluse dans la zone de confort. L'écart de températures entre les courbes obtenues par simulations atteint 6.7°C. La différence entre $T_e - T_i$ (t-paille)=16,9°C, une différence

importante qui peut avoir des retombées sur le climat intérieur en général¹⁴⁶. par contre, la différence de températures $T_e - T_i(\text{terre}) = 10^\circ\text{C}$ à 12h00 l'heure affichant les températures de pointes. En comparant les deux matériaux, nous constatons un comportement meilleur de terre-paille par rapport à la terre crue. La courbe, des résultats obtenus par terre paille, reste bien loin de celle des températures extérieures, mais elle suit son allure avec une sensibilité très faible.

Le matériau terre paille montre clairement de meilleures performances thermiques par rapport au matériau terre.

V.5.6 Conclusion :

Les deux simulations effectuées, distinctivement et respectivement, sur les matériaux, terre et terre paille ont montrées que malgré les performances hygrothermique de la terre en tant que matériau de construction, par son inertie thermique et sa capacité à réguler l'humidité à l'intérieur des espaces, le rajout, de la paille à la terre est souhaitable dans de tels conditions caniculaires, joue le rôle complémentaire, à retarder le transfert thermique vers l'intérieur et stabiliser les températures intérieures, tout en offrant un confort thermique.

Le matériau terre paille présente des qualités hygrothermique meilleures, pouvant créer un écart de températures jusqu'à, $(t_{\text{ext}} - t_{\text{int}}) = 17^\circ\text{C}$ cela représente une performance thermique exemplaire.

Les résultats obtenus par simulation, du matériau terre, coïncident avec les valeurs obtenues par mesures, et il est mis en évidence que la ventilation diurne est déconseillée car la pénétration de l'air chaud sans pouvoir l'évacué, perturbe la variation de la température intérieure.¹⁴⁷

V.6.0 ENQUETE ET QUESTIONNAIRE

V.6.1 Introduction

Plusieurs tentatives, sous forme de projets sont engagées dans le but d'améliorer l'image de l'architecture de terre crue, et par conséquent sauvegarder un patrimoine matériel important portant à notre identité socioculturelle, n'ont pas réussis à remettre la terre, comme matériau de construction, dans un contexte technique et social.

La mauvaise image des constructions anciennes, faites en terre et en matériaux locaux, affecte l'architecture de terre.

¹⁴⁶ Luc Floissac, Grecau, compaillon, Paille et construction, université d'architecture de Toulouse ,doc Pdf

¹⁴⁷ Dr Kevan H, Comparative analysis of the thermal performance of three test buildings, UTSydney 2006

A travers Cette enquête, exploratoire nous allons chercher à comprendre l'architecture traditionnelle et les causes de l'abstention de la population à reprendre la construction en terre, et aussi, la perception de l'architecture de terre. L'état algérien voyait en l'architecture de terre comme moyen de stabiliser les populations rurales, alors que la population rurale associe misère et pauvreté à son habitat fait en terre¹⁴⁸.

L'architecture de terre traditionnelle en Algérie n'a pas de relation avec les traditions millénaires, que nous pouvons rencontrer dans certains pays. C'est une tradition jeune dont les circonstances de la naissance ont rencontré l'événement colonial.¹⁴⁹

V.6.2 **METHODE D'ENQUETE**

Notre enquête est orientée de façon à recueillir des descriptions. En partant de nos observations qui concernent le rapport entre l'architecture de terre et les constructions traditionnelles en terre, nous supposons que les constructions en terre sont perçues à travers plusieurs éléments, en plus du matériau, l'état du cadre bâti en est un, qui évalue négativement, et affecte l'image de l'architecture de terre. En d'autres termes, nous devons recueillir les éléments de la perception « représentation » des constructions en terre et de leurs attributs. Par conséquent, cela permettra de dresser la configuration perceptive de l'architecture de terre.

L'enquête auprès du public et des professionnels à savoir les architectes permet de dégager les éléments de la configuration perceptive de l'architecture de terre. Elle doit servir à vérifier l'hypothèse, selon laquelle est constituée de plusieurs éléments qui entravent l'évolution et le développement des techniques de l'architecture de terre.

la méthode d'enquête adoptée est l'enquête par questionnaire orienté qui consiste à recueillir le maximum de données spécifiques à une problématique posée, représente à notre avis le moyen le mieux adapté pour vérifier notre hypothèse et appréhender la perception de l'architecture de terre chez les citoyens (profane ou professionnels). Nous avons cherché à ne pas trop élargir les questions afin de limiter et orienter le sens. Pour cela nous avons choisis 8 questions destinées au public et 10 autres aux professionnels. Le nombre des individus sollicités est en somme de 90 personnes, répartis comme suit :

55 Personnes du grand public

¹⁴⁸ M. Arkoun, the socialiste village experiment in algeria in [http :www.archenet.org /libery /](http://www.archenet.org/libery/)

¹⁴⁹ M.Cote, L'habitat rural en Algérie formes et mutations 1988

Accepteriez vous de vivre dedans ? Oui non	
Pourquoi ? si non <ul style="list-style-type: none"> • signe de pauvreté et de précarité • elles ne sont pas sûres • elles ne conviennent plus au mode de vie actuel si oui <ul style="list-style-type: none"> • elles sont confortables (thermique) • elles sont économiques en réalisation • elles rappellent un passé affectif 	
Qu'est ce qu'elles représentent pour vous? <ul style="list-style-type: none"> - aucune valeur - un patrimoine de valeur qu'il faut sauvegarder 	
La terre en tant que matériau peut t elle remplacer les matériaux actuelles ? Oui non	
Qu'est ce que vous craignez le plus de l'ancienne maison en terre ? <ul style="list-style-type: none"> - Qu'elle s'effondre - Coûts d'entretien (infiltration eau et autres) - Sentiment d'inconfort psychologique envers l'entourage social 	
Qu'est ce qui manquerait à l'ancienne maison en terre pour qu'elle soit bien ? <ul style="list-style-type: none"> - une modernisation du plan ? - la rendre plus sur - améliorer le procédé de construction intègre quelques matériaux nouveaux autres	
Si vous avez à reconstruire une maison la feriez vous en terre ?	La terre est t elle un matériau toujours concurrentiel ?

b. -Questions destinées aux professionnels

Questions posées	Objectifs	
Le patrimoine architecturale en terre peut t il être une ressource a nos difficultés actuelles ? OUI NON		

<p>La disparition de la terre comme matériau de construction sur vos plans sont du a quoi ?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Négligence de la part du concepteur - Choix du propriétaire - méconnaissance du matériau - matériau non normalisé - manque de main d'œuvre qualifiée 	<p>Les éléments contribuant a la partie négative de l'image de l'architecture de terre</p>	
<p>Peut t on modernisé le matériau terre et le rendre banal?</p> <p>Oui non</p>		
<p>La terre présente t elle des avantages ?</p> <p>OUI NON</p> <p>Si oui</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isolation thermique • Economique • Préserve l'environnement <p>Si non, ses inconvenients</p> <ul style="list-style-type: none"> • presente des defauts techniques • aucun sens esthetique * signe de pauverete et precarité 		
<p>Est t il nécessaire de relancer la terre en tant que matériau ?</p> <p>- OUI NON</p>		
<p>La terre en tant que matériau peut t elle concurrencer les matériaux actuelles ?</p> <p>Oui non</p>		
<p>Croyez vous que la terre est dépassée par les tendances modernes actuelles ?</p> <p>Oui Non</p>		
<p>Qu'est ce qui manquerait à l'ancienne maison en terre pour qu'elle soit bien ?</p> <ul style="list-style-type: none"> - une modernisation du plan ? - la rendre plus sur - améliorer le procédé de construction - intègre quelque matériau nouveau <p>autres</p>		
<p>Si vous avez le choix entre le béton et la terre le quel des deux choisir pour bâtir une maison?</p>		

V.6.5 ANALYSE DES RESULTATS DE L'ENQUETE

Dans cette partie nous analyserons le discours des habitants pour mettre en évidence l'image de l'architecture de terre par l'énumération de ses composants que nous avons classés en éléments et attributs afin de faciliter leur analyse.

Ce qui va nous aider à vérifier notre hypothèse qui suppose que le cadre des constructions traditionnelles affectent gravement l'image de l'architecture de terre, chez le grand public, et que l'absence de réglementation et normalisation des produits issus de la terre empêche son utilisation de la part des concepteurs et professionnels.

En fin la présentation de quelques illustrations montrant des constructions modernes faites en terre, au public, démontrent, clairement le changement d'avis de la plus part des individus questionnés.

a. EVALUATION GLOBALE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE :

Le nombre de personnes interrogées est de 90, répartie :

L'évaluation globale de l'architecture de terre est déduite à travers la lecture de l'ensemble du discours des personnes.

Il se dégage ainsi pour chaque sujet une évaluation positive ou négative.

Tableau 10 évaluation globale de l'architecture de terre

Les catégories de personnes	Evaluations	
	Négative	Positive
urbaines	83,50%	16,50%
Rurale	75,00%	25,00 %
Architectes	63,50%	36,50%

Nous constatons que le pourcentage des évaluations négatives est bien supérieur aux taux des évaluations positives. L'évaluation négative est souvent liée aux éléments techniques que les maisons traditionnelles présentent, par cause de précarité et vétusté.

b. CONFIGURATION DE L'ARCHITECTURE DE TERRE :

Tableau 11 Matériau et état du cadre bâti éléments pregnants dans la perception

	La forme	Le matériau	L'état du bâti
Éléments pregnants	15%	50,55%	30,33%
Éléments agréables	20%	5%	0%
Éléments désagréables	10%	25%	65%

c. **OBSTACLES A L'ARCHITECTURE DE TERRE**

Tableau 12 Obstacles entravant l'évolution de l'architecture de terre

	Obstacle psychologique	Obstacle techniques	Obstacle reglementaire	Obstacle economique
Public	65%	15%	0%	20%
PROFESSIONNELS	20%	5%	75%	0%

A partir du tableau ci-dessus nous constatons que l'obstacle d'ordre psychologique est ressenti plus chez les citoyens du grand public, par contre chez les professionnels l'obstacle le plus prégnant est d'ordre réglementaire. Ainsi le cadre bâti est l'élément majeur qui, provoque le sentiment d'inconfort psychologique, et les professionnels croient que c'est en arrangeant l'état du bâti par le développement des procédés, par l'introduction de réglementations permettrait d'introduire la terre comme matériau de construction ordinaire et banal.

Tableau 13 ; l'architecture de terre fait-elle bonne ou mauvaise image

	Eléments de bonne image	Eléments neutres	Eléments de mauvaise image
Public	35%	15%	50%
Professionnels	55%	10%	35%

Du tableau nous pouvons déduire que l'évaluation de bonne image et mauvaise image sont bien partagés entre les deux catégories sociales interrogées. Les professionnels voient que l'architecture de terre fait partie du patrimoine architecturale, identitaire, qu'il faut requalifier et l'introduire dans le courant moderne.

V.6.6 **CONCLUSION :**

L'analyse des résultats de notre enquête montre qu'en plus du matériau, le cadre bâti est un facteur important de l'image de l'architecture de terre. Il est un élément de mauvaise image autrement dit les constructions actuelles, construites traditionnellement émettent un message négatif. Le refus de la plus part des interviewés, de vivre dans des maisons en terre, est motivé par le fait que les maisons traditionnelles sont signes, d'un bas niveau social, de précarité et pauvreté.¹⁵⁰

150 K. Hadjri, DipArch, MPhil, PhD, M. Osmani, DipArch, MPhil, B. Baiche, DipArch, MPhil, PhD and C. Chifunda MSc - Attitudes towards earth building for Zambian housing provision, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Loughborough university, sept 2007

L'évaluation et la perception de l'architecture de terre passe par l'image finale du cadre bâti, cela à été bien ressenti à travers les illustrations présentées a la fin de l'enquête, aux individus, qui ont à leur tour bien appréciées et ont exprimées leurs désirs d'y habitées. Le développement des procédés de constructions est le moyen par lesquels il est possible d'améliorer et revaloriser l'image de l'architecture de terre. La réglementation est une condition sine qua non des professionnels afin de pouvoir positionner la terre, comme matériau de construction, pouvant être promu et accepter par le grand public. Des pays comme l'Australie, Nouvelle-Zélande et les Etats-Unis ont développés de nouveaux codes et ont mis en place des règlements et recommandations pour la construction en terre. En plus, de récentes recherches sur l'utilisation du matériau terre ont montrées, sa souplesse, sa durabilité et qu'il est socialement acceptables.¹⁵¹

¹⁵¹ **ibid**

CONCLUSION GENERALE

L'homme a beaucoup évolué à travers les différentes époques. Il a savouré le progrès technologique marqué par les découvertes, son objectif fut d'améliorer son cadre de vie général.

Ce progrès se faisait au détriment des ressources naturelles, ce qui a causé une menace de la vie sur terre, par les risques suivants :

- le risque de l'effet de serre
- le risque de l'inéquité dans le partage des richesses
- le risque de l'épuisement des ressources
- le risque de la pollution de l'air, l'eau, et des sols

Les matériaux de construction actuels ont plus d'effets néfastes sur la santé de l'homme, les recherches sur l'amiante ont bien prouvé que le danger peut bien venir de chez nous, de notre intérieur.

Le concept de développement durable fait aujourd'hui partie intégrante de notre société. Le secteur de la construction a joué un rôle actif dans ce domaine. Synonyme de longévité accrue, la construction durable traduit aussi une vision globale qui tend vers la réalisation d'ouvrages de qualité dans le respect des contraintes liées à l'aménagement du territoire, à l'environnement, aux conditions sociales et au progrès économique.

Cette évolution s'accompagne de toute une série de développements et d'innovations qui ont une influence sur les activités des entreprises, sur les bâtiments qu'elles réalisent et sur le paysage urbain. Ces méthodes d'évaluation pourraient déboucher sur l'élaboration d'un label de durabilité à attribuer aux matériaux, aux bâtiments et aux activités de construction, label qui aurait une action favorable sur le développement de techniques innovantes et sur le comportement du consommateur.

L'architecture de terre méconnue est méprisée car elle est liée à des images d'archaïsme et de pauvreté. Depuis près de 10000 ans que l'homme bâtit des villes entièrement en terre crue et demeure, un des matériaux de construction le plus utilisés sur la planète. Ce remarquable patrimoine culturel universel a été occulté, depuis que l'homme a connu la technique des transformations, par une élite qui a fait table rase des traditions. IL nous faut donc redécouvrir les évidences de ce que certains ont bien cru synonyme de pauvreté et de précarité.

Conclusion générale et recommandations

C'est dans ce cadre la que des travaux sur la terre, en tant que matériau ont été entrepris par certains pionniers comme François Coenteraux et Hassan Fathy qui ont bien redonné confiance aux concepteurs et autres, qu'il est bel et bien possible de construire en terre.

La revalorisation de l'architecture de terre doit passer par faire une lumière sur la connaissance plus approfondie de la matière, dans le but de la maîtriser et mettre en valeur toutes ses vertus écologiques et ses performances thermiques, avec toutes les incidences positives qu'elle peut réaliser sur le plan énergétique, environnementale et esthétique.

Développé des techniques et des normes de réalisation, plus adaptées aux conditions socioculturelles, est un moyen fiable pour banaliser l'utilisation de la terre.

Des matières premières différentes, aux propriétés différentes, induisent des pratiques humaines diversifiées. A l'heure actuelle, cette diversité constitue le principal obstacle à la compréhension du matériau terre. Derrière l'expression *matériau terre* au singulier, se cache une infinité de matières aux propriétés physico-chimiques variées qui définissent toute une gamme de matériaux qui vont du sable au béton.

Il est courant de considérer la terre comme un béton dont l'argile serait le liant. En réalité, si on observe la matière de plus près, on découvre que l'eau est le véritable liant de la terre. Les argiles sont juste des grains dont la taille et la forme particulières permettent aux forces capillaires d'être beaucoup plus importantes.

- C'est surtout en flexion que la terre possède ses limites.
- éviter les charges ponctuelles importantes.
- épaisseur minimale des murs pour éviter les risques de flambement
- Des fondations solides sont prescrites, pour éviter les risques de tassement différentiel.
- une granulométrie minutieuse selon type de procédés est recommandée.
- stabiliser la terre par la chaux naturelle ou par ciment pour résister mieux à l'humidité et à la compression.

En matière d'isolation hygrothermique, la terre est un matériau qui présente des performances importantes, notamment par sa structure capillaire et son inertie, elle peut absorber jusqu'à 3% de son poids. Tout en évitant la condensation sur les murs, et aussi à la capacité de restituer l'eau plus tard. La terre a donné de meilleurs résultats ; thermiques, tout en la mélangeant à d'autres matières naturelles tel que la paille, ce qui augmente sa résistance thermique.

Conclusion générale et recommandations

Notre modeste investigation nous a permis de constater un déphasage thermique de plus de 6h00, entre les températures intérieures et extérieures, et ce dans des conditions jugées caniculaires.

La différence entre les températures de l'air intérieur et extérieur ΔT° (tin-text) a atteint -9°C , en période diurne; par contre en période nocturne la différence ΔT° (tin-text) ne dépasse pas $+3^\circ\text{C}$. L'inertie thermique du mur a joué le rôle primordial, cela a eu aussi des effets sur les températures surfaciques, intérieures du mur, qui se rapprochent de celles de l'air.

En simulation, par ecotect v5.5, la terre mélangée à la paille a donné des résultats thermique meilleurs, les températures intérieures sont bien incluses dans la zone de confort.

Notre enquête, a exploré l'aspect du blocage psychologique et technique qui entrave la revalorisation de l'architecture de terre et essayer de comprendre à la base d'une étude portée sur le volet technique et social, la perception et l'évaluation négative qui caractérise l'image de l'architecture de terre dans la région, malgré tout ce que la terre présente comme avantages et portées environnementales.

Cette étude nous a permis de comprendre aussi que la mauvaise image de l'architecture de terre est due à un ensemble de facteurs, autrement dit elle est perçue à travers des éléments tel l'aspect du cadre bâti et le matériau de construction. Cette image des constructions traditionnelles est marquée négativement par l'état du cadre du bâti tout autant que le matériau.

D'une manière générale pour améliorer l'image de l'architecture de terre il est nécessaire de passer par la revalorisation du patrimoine culturel, la nécessité de la normalisation de la terre en tant que matériau de construction et engager des travaux de recherches sur les techniques de faisabilité adaptées aux conditions sismiques. Elargir le champ de son utilisation à travers des études techniques adaptées à chaque région.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- 1 ANDRE RAVEREAU le M'Zab une lecn d'architecture sindbad 1981
- 2 BECKY LITTLE AND TOM MORTON Building with earth in scotland: innovative design and sustainability Ed Scottish Executive Central Research Unit 2001
- CENTRE GEORGE POMPIDOU Des architectures de terre, l'avenir d'une tradition millénaire
- 3 CNERIB Conception de logements économique à base de produits localement disponible Ed. CNERIB Alger 2000
- 4 CNERIB Beton de terre stabilisé Ed CNERIB Qlger 1988
- 5 DOAT.P & A. HAYES, , Construire en terre ed alternatives, Paris 1985
- 6 DOMINIQUE GAUZIN MULLER L'architecture écologique le Moniteur 2001
- 7 EASTON .D The rammed earth house, Ed Chelsea Green Publishing company USA 1996
- 8 Friedrick Kur L'habitat écologique terre vivante 2005
- 9 GERNOT MINKE Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth Ed Gate Basin GTZ version numérique eschborn 2003
- 10 GUIDE A L'ATTENTION DES COLLECTIVITES LOCALES AFRICAINES Patrimoine culturel & developpement local Ed Craterre-Unesco 2006
- 11 GUILLAUT H Modernité de l'architecture de terre en afrique, realisation des années 80 Ed craterre grenoble 1989
- 12 GUILLAUT H, JOFFROY T ODUL.P Compressed earth, blocks mania land design and construction Ed Gate Eschborn 2001
- 13 H. HOUBEN VERNEY P.E Bloc de terre comprimé . choix du materiel Ed CDI bruxelle 1988
- 14 H. HOUBEN& VINCENT RIGASSI & PHILIPPE GARNIER Bloc de terre comprimé , équipements de production Ed craterre, 1996
- 15 HASSAN FATHY construire avec le peuple edition sindbad 1970
- 16 Houben H Traité d'architecture en terre – ed parenthese 1989
- 17 J.ASTRAND, S LAID, L.BESSADI, H. TEGGOUR, E. JOHANSSON & N.TOOUMI Materiaux thermiquement isolants: beton mousse panneaux en laine de bois, rapport 2 seminaire algero-suedois 1994
- 18 JEAN PIERRE OLIVA L'isolation écologique terre vivante 2004

Bibliographie

- 19 KAMEL MECHETA Maghreb architecture urbanisme patrimoine, tradition et modernité publisud 1991
- 20 ODUL PASCAL Actualites Des Architectures De Terre En Tunisie Ed projet earth construction technologies appropriate to de veloping countries Belgique
- 21 P. Doat,& A Hays &H. houben construire en terre -collection an architecture- 1979 S.Matuk & F.vitoux
- 22 PIERRE LAVIGNE Architecture climatique 1& 2 esud 1994
- 23 ROMAIN ANGER &²LEATITIA FONTAINE GRAINS DE BATISSEURS la matiere en grains, de la géologie a l'architecture Ed craterre 2005
- 24 د عبد الباقي ابراهيم المنظر الإسلامي للنظرية المعمارية مركز الدراسات التخطيطية و المعمارية مصر
- 25 د: محي الدين سلقيني العمارة البيئية دار قابس 1994
- 26 د: يحي وزيري التصميم المعماري الصديق للبيئة : نحو عمارة خضراء مكتبة مدبولي 2003
- 27 المؤتمر المعماري الاول نقابة المهندسين المعماريين العمارة العربية الاسلامية ك اشكالية الهوية المركز الثقافي الملكي عمان الاردن 1998

ARTICLES ET REVUES

- 28 Des maisons chaudes et bon marché en paille, LA REVUE DURABLE, N° 19 année 2006
- 29 Akubue Jideofor Anselm Passive annual heat storage principles in earth sheltered housing, a supplementary energy saving system in residential housing ENERGY AND BUILDINGS, NOV 2007
- 30 Anonyme Durability of cement stabilised earth walls, fifth canmet/aci international conference on durability of concrete barcelona, spain 2000. UTSydney 2006
- 31 Arvind Chel *, G.N.Tiwari Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate ENERGY AND BUILDINGS juillet 2008
- 32 B R Longfoot Building Blocks Made From Kgalagadi Sand UT Sydeny 2006
- 33 Gregory Moor & Kevan Heathcote Earth Building in Australia - Durability Research UT Sydeny Modern Earth Building 2002 - Berlin

Bibliographie

- 34 GUILLAUD.H Construire en terre crue, techniques anceiebbes et actuelles, Teiz Breiz , N° 25
- 35 GUILLAUD.H ELOUNDOU.L
T. JOFFROY A OULD SIDI Architecture de terre un patrimoine d'avenir,
CAES CNRS Magazine n°63 2002
- 36 Hanifi Binici *, Orhan Aksogan -Tahir
Shah Investigation of fibre reinforced mud brick as a
building material.
Construction and building material, sept 2004
- 37 Hanifi Binici *, Orhan Aksogan ,
Mehmet Nuri Bodur , Erhan Akca ,
Selim Kapur Thermal isolation and mechanical properties of
fibre reinforced mud bricks as wall materials
Construction and building materials. FEV 2006
- 38 Jean-Claude ANDREANI, & Françoise
CONCHON, Les techniques d'enquêtes expérientielles :
vers une nouvelle génération de méthodologies
qualitatives.
- 39 K. Hadjri, M. Osmani, , B. Baiche,
and C. Chifunda Attitudes towards earth building for Zambian
housing provision.
AOUT 2007 Creatives commons
- 40 M. Carmen Jime'nez Delgado *,
Ignacio Canñas Guerrero Earth building in Spain,, construction and building
materials 2005
- 41 MICHEL PASTORE ARCHITECTURE DE TERRE, du patrimoine au
développement durable , revue de la céramique et
du verre N°146 JAN FEV 2006
- 42 P. Taylor *, M.B. Luther Evaluating rammed earth walls: a case study
SOLAR ENERGY August 2003
- 43 P. Taylor*, R.J. Fuller, M.B. Luther Energy use and thermal comfort in a rammed earth
office building. Energy And Buildings 2007
- 44 R. Bahar , M. Benazzoug , S. Kenai Performance of compacted cement-stabilised soil
Cement, concret& composites, Janv 2004
- 45 Raymond ASOMBANG AFRIQUE 2009 CHRONIQUE
Sites du patrimoine lies a l'esclavage et a son
abolition juillet 2004
- 46 Richard Walker & Hugh Morris Development of new performance based standards
for earth Building. Department of Civil and
Resource Engineering, The University of Auckland
- 47 SAMUEL Courgey Normes, DTU, assurances, ... et
utilisation de la botte de paille, ARCANNE Forum
construction paille 6 et 7 mai 2006
- 48 B. Samali , D.M. Dowling , J. Li and
U. Dackermann, Francisco, California Shake table testing and dynamic response of u-
shaped adobe mudbrick wall units, presented on the
8th U.S. National Conference on Earthquake
Engineering, 18-22 April 2006, San

Bibliographie

- 49 Stephen Dobson Continuity of Tradition: New Earth Building
UT Sydeny Terra 2000
- 50 Warren L. Paul Peter A. Taylor A comparison of occupant comfort and satisfaction
between a green building and a conventional
building. Building And Environnement NOV 2007
- 51 Williame Rees Série de séminaires d'Environnement Canada en
recherche sur les politiques
Notre empreinte écologique : Lorsque la
consommation fait violence. 13 OCT 2000
<http://www.ec.gc.ca/>
- 52 عادل سعيد هادي تحليلات البيئية في الدراسات التصميم الحضري المجلة العراقية
للهندسة المعمارية عدد 04 2002
- 53 سفيان ساطع عباس – شيماء عباس علي اثر علامات الدلالة على الاتصال البيئي غير الفضي في محاور
الحركة الرئيسية المجلة العراقية للهندسة المعمارية عدد 04 –
2002

THESES ET ME MOIRES

- 54 Amar Bennadji Adaptation Climatique Ou culturelle En Zone Aride
Université Aix-Marseille 1
- 55 nourreddine keballi l'architecture de terre contemporaine en algerie
Magistere, EPAU 2006
- 56 julien chabane le bois une ossature de remplissage
DPEA Grenoble 2006
- 57 Christian BELINGA NKO'O études prospectives pour le développement d'un
habitat de qualite en adobe a koudougou, burkina
faso, DPEA Grenoble 2006
- 58 Saliha BENMESSAOUD Prospection pour l'introduction de la construction
en matériaux locaux dans le secteur du logement à
Tamanrasset DPEA Grenoble 2006
- 59 Laetitia Fontaine Cohésion et comportement mécanique de la terre
comme matériau de construction. DPEA Grenoble
2004
- 60 Romain Anger Architectures de terre et diversité des matériaux
granulaires, Doctorat INSA Lyon ENSAG (reumé)
- 61 Olivier Aznar **Techniques d'enquêtes**
UMR Métafort Cemagref-Engref-Enita-Inra
Master 18Oct 2005

SITES WEB

- 62 <http://www.craterre.archi.fr>
- 63 <http://www.terre.grenoble.archi.fr>
- 64 <http://www.earthbuilding.com>

Bibliographie

- 65 [http://www.getty.edu /](http://www.getty.edu/)
- 66 [http://www.ac-toulouse.fr/ culture/](http://www.ac-toulouse.fr/culture/)
- 67 <http://www.eartharchitecture.org>
- 68 <http://www.rammedearth.com>
- 69 <http://www.greenbuilder.com>
- 70 <http://www.iccrom.org/fran>
- 71 <http://www.earthcentre.org.uk>
- 72 <http://www.rammedearthwork.com>
- 73 <http://www.earthhouse.info/>

ANNEXES

1/ Analyse climatique et bioclimatique de la région

Situation géographique :

Le site est situé sur le territoire de la commune Ouled Ammar daïra de Barika a une latitude de 35° 51' Nord et une longitude de 5° 43' Est .

le climat est, généralement, caractérisé par une fortes chaleur en été et une baisse des températures en hiver.

Détermination de l'indice d'aridité : (valeurs climatiques voir annexe)
D'après ED.MARTONNE, l'indice d'aridité est donné par la formule suivante :

$$Ia = P/T+10$$

D'où ; Ia : est l'indice d'aridité

- P : précipitations annuelles.
- T : température moyenne annuelle

La lecture de cet indice se fait comme suit :

- $Ia < 5$: c'est l'indice d'aridité absolue ou hyper aridité
- $5 < Ia < 10$: c'est l'indice d'aridité
- $10 < Ia < 20$: c'est l'indice de semi aridité

Pour la ville de ouled ammar on obtient :

$$Ia = 143.23/(22.6 +10) = 4.39.$$

Donc le climat est ARIDE

ANALYSE BIOCLIMATQUE DE BARIKA :

Pour l'analyse bioclimatique de la ville Barika on s'est basé sur l'utilisation des tableaux de MAHONEY, et le diagramme psychométrique de S.V.ZOCOLAY, pour les recommandations concernant la ville.

D' après les tableaux de MAHONEY appliqués à la ville de Barika on peut déduire les recommandations suivantes :

En utilisant cette méthode nous arrivons à un certain nombre de recommandations qui vont de l'aspect général de la construction, orientation, protection contre la pluie ou le soleil.. jusqu'à la dimension des ouvertures l'isolation et d'autre détails de la construction.

a. Recommandations générales :

- Plan à orientation nord sud. (avec grand axe est ouest)
- Plan et tissu compacte

- Taille des ouvertures moyenne
- Murs extérieures et intérieurs épais (inertie importante)
- Toits lourds (plus de 8H de temps de déphasage)
- Aménager des espaces extérieures pour dormir le soir

b. Recommandations sur les détails

- Déphasage des murs extérieurs et des toits supérieur à 8h.
- Taille moyenne pour les ouvertures de 25 à 40%

- La protection des ouvertures contre l'ensoleillement direct est un élément important étant donné la longueur de la saison chaude (ceci sans pour autant priver les mois les plus frais de la chaleur solaire nécessaire)

Par l'application de la méthode de ZOCKOLAY il était nécessaire de calculer la température neutre établie d'après AULICIEMS (1978) : $T_n = 17,6 + 0,31T_0$

Les températures neutres pour BARIKA est : $T_n = 27,9^\circ \text{C}$

D'après le diagramme bioclimatique et le diagramme psychométrique appliqué aux conditions climatiques de la ville de Barika on peut distinguer :

D'après l'analyse des données on constate une relation étroite entre la température moyenne et la période de la journée (l'heure) et de l'année (mois).

D'où on peut déduire trois groupes de zones :

- Une première zone de sous - échauffement qui s'étale du mois de Janvier , février ,

Mars, novembre et décembre et qui nécessite forcément un chauffage d'appoint.

- Une deuxième zone de confort qui est intermédiaire entre la limite inférieure neutre

($22,50^\circ\text{C}$) et la limite supérieure neutre ($26,50^\circ\text{C}$) et qui s'étale du mois de mai et avril. La température dans cette zone et dans les limites de confort.

- Une troisième zone de sur - échauffement (surchauffe) qui s'étale du mois de juin , juillet et août ou la température dépasse 25°C et surtout entre 10 H00 et 16H00 dont l'intensité du soleil est forte (nécessitent un control solaire).

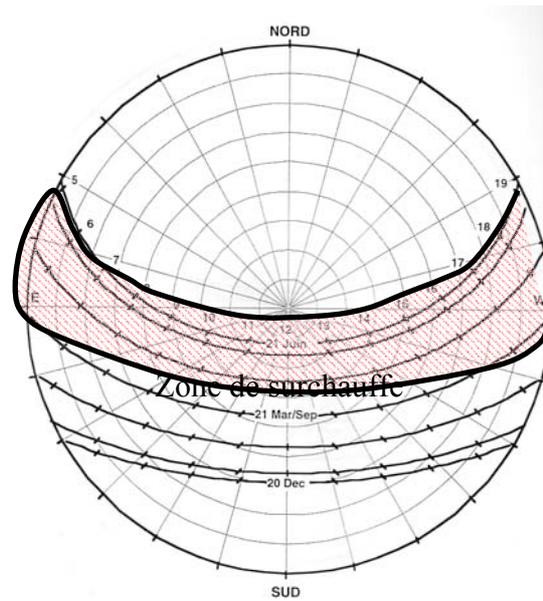


Figure 1 Détermination de la zone de surchauffe sur la Diagramme solaire de Barika

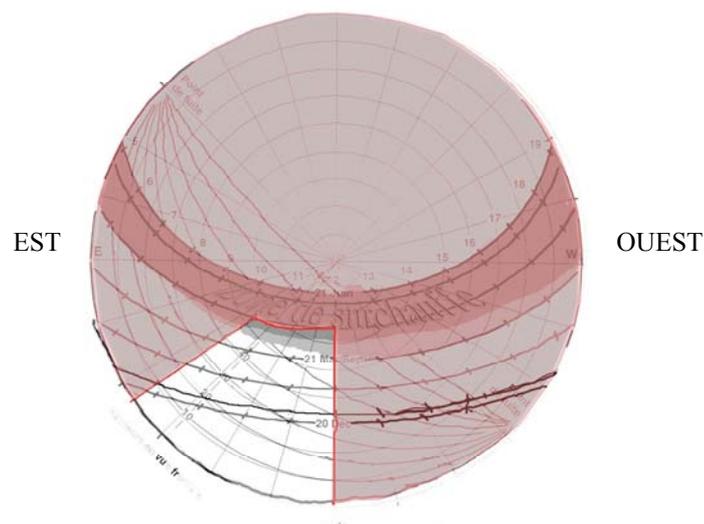


Figure 2 Occultation solaire pour l'orientation sud-est

L'orientation SUD-EST est une orientation acceptable dont la mesure d'assure une protection des baies par des parois verticales et des lames horizontale.

La protection sera donc assurée le matin de 10.00h jusqu'a midi pendant les mois critiques :

(avril, mai, juin, juillet, et aout), le reste des mois ce situes dans la zone de transmission.

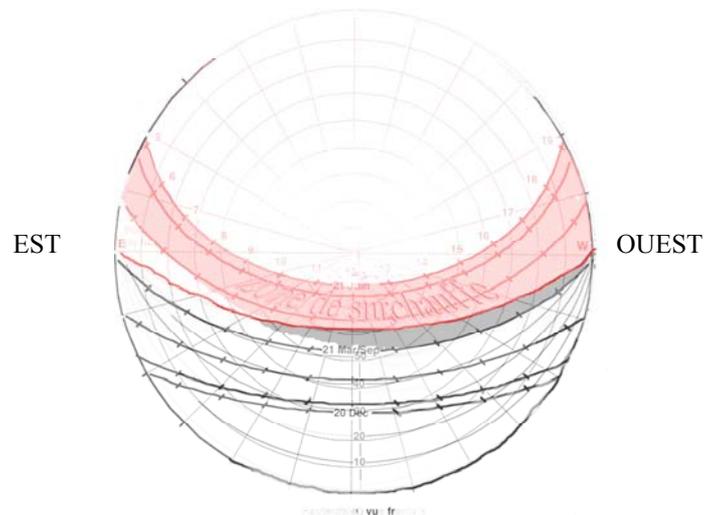


Figure 3 OCCULTATION pour l'orientation Sud

L'orientation SUD est une orientation favorable, le soleil est au zenite, un simple auvent peut protégé la baie. Pour le cas de Barika la protection a 100% sera pendant les mois(avril, mai, juin, juillet, et aout)

Conclusion :

La région de Barika se caractérise par un climat chaud et semi- aride la sécheresse est une donnée généralisée sur tout les mois de l'année, les fortes chaleurs concernent certes une grande partie de l'année mais il n'en demeure pas moins que les besoins de chauffage en hiver ; malgré qu'ils soient faibles, restent bien réel.

Le chauffage passif est recommande une bonne exposition au soleil (rayonnement solaire), le choix des matériaux doit être judicieux.

Pendant la saison chaude qui dure plus longtemps que la saison froide , les besoins en refroidissement sont beaucoup plus important que les besoins de chauffage en hiver.

Les mois de grande chaleurs nécessitent aussi un rafraîchissement passif : plan compact, effet de masse et **inertie thermique**, ventilation nocturne et refroidissement par évaporations.

Ces procédés sont indispensables pour parvenir aux conditions de confort a l'intérieur du bâtiment, surtout durant les mois de juillet et août qui sont les plus chauds de l'année. Pendant ces mois, les techniques passives ne suffisent pas à elles seuls à maintenir une température de confort acceptable durant toute la journée , il faut donc avoir recours a la climatisation d'appoint.

Avec une architecture appropriée qui prendrait en considération les données précédemment cités on pourrait arriver à un gain d'énergie considérable en s'appuyant sur des procédés purement architecturaux, et avoir recours d'une façon raisonnable aux moyens actifs.

Annexe2 : Calcule de la perméabilité des parois : elle exprime la capacité d'une enveloppe à transmettre l'énergie solaire¹³⁷.

a. Perméabilité de la toiture :

$$F1 = f1 \times St \times as \times Kt/he \times CE$$

f1 / facteur de transmission masques architecturaux = 1 (pas de masque architectural)

CE : coefficient d'exposition = 1, surface horizontale.

as : facteur d'absorption solaire = 0.7 (couleur proche de l'ocre)

Kt : conductance de la toiture terrasse = 2.94

1/he : coefficient d'échange superficiel externe = 0.05

$$Kt/he = 2.94 \times 0.05 = 0.147$$

St : surface totale = 42,16 m²

$$F1 = 1 \times 42,16 \times 0,7 \times 0,147 = \mathbf{4,34}$$

b. Perméabilité des murs :

$$f1 = 0,9$$

$$CE = 0,51$$

as : facteur d'absorption solaire = 0.7 (couleur proche de l'ocre)

Km : conductance des verticaux = 1.78

1/he : coefficient d'échange superficiel externe = 0.06

$$Kt/he = 1.78 \times 0.06 = 0.11$$

St : surface totale = 87,72 m²

$$F1 = 0.9 \times 87,72 \times 0,7 \times 0,11 \times 0,51 = \mathbf{3,10.}$$

c. Perméabilité des ouvertures S-Est

f1 : facteur de transmission masques architecturaux,) = 0,9

$$CE = 0,51$$

as : facteur d'absorption solaire = 0.7 (couleur proche de l'ocre)

Km : conductance des verticaux = 7,69

1/he : coefficient d'échange superficiel externe = 0.06

$$Kt/he = 7.69 \times 0.06 = 0.46$$

St : surface total = 3,92 m²

$$F1 = 0.9 \times 3,92 \times 0,7 \times 0,46 \times 0,51 = \mathbf{0,58.}$$

la perméabilité totale est égale =

Toiture terrasse	4,34	pourcentage du total : 54,11%
MURS	3,68	pourcentage du total : 45,88%
TOTAL	8,02	
Perméabilité spécifique 8,02/137,37(volume) = 0,06		

¹³⁷ P. Lavigne, P. Fernandez, A Chatelet Architecture climatique, une contribution au développement durable 1994 tome II édition EDISUD

ANNEXE 3 comparaisons et calcul des résistances thermiques, de différents parois en

terre:

Composition de la paroi	<u>Enduit de terre</u>	<u>Terre paille</u>	<u>Enduit chaux</u>	
	Epaisseur e= m	Conductivité thermique λ (W/m.°C	Resistance thermique $R_{m^2} \cdot ^\circ C/W$	résistance a la diffusion de la vapeur d'eau
Resistance superficielle interne			0.110	
Enduit en terre	0.025	0.660	0.038	8
Terre paille 300kg/m ²	0.300	0.100	3.000	3
Enduit en chaux/sable	0.025	1.060	0.024	35
Resistance superficielle externe			0.060	
Resistance thermique totale			3.232	
POUR UNE PAROI COMPOSE DE E=35cm U= 0.309 W/m².°C				
La valeur U(transmission calorifique) est donc : R= 3.232 m².°C/W				
Resistance superficielle interne			0.110	
Enduit en terre	0.025	0.660	0.038	8
Terre plaquettes 600 kg/m ²	0.300	0.170	1.765	4
Enduit en chaux/sable	0.025	1.060	0.024	35
Resistance superficielle externe			0.060	
Resistance thermique totale			1.996	
POUR UNE PAROI COMPOSE DE E=35cm U= 0.501 W/m².°C				
La valeur U(transmission calorifique) est donc : R= 1.996 m².°C/W				
Resistance superficielle interne			0.110	
Enduit en terre	0.025	0.660	0.038	8
Terre coulée 1200 kg/m ²	0.300	0.470	0.638	6
Enduit en chaux/sable	0.025	1.060	0.024	35
Resistance superficielle externe			0.060	
Resistance thermique			0.870	

totale				
POUR UNE PAROI COMPOSE DE E=35cm		U= 1.149 W/m².°C		
La valeur U(transmission calorifique) est donc :		R= 0.870 m².°C/W		

- Interprétation des résultats :

Nous constatons d'après les tableaux que la résistance thermique augmente en fonction du mélange de la terre effectuée, « terre paille » est le meilleur du point de vue résistance thermique

1- TERRE PAILLE U= 0,309 m²/C

2- TERRE PALQUETTES U= 0,501 m²/C

3- TERRE COULEE U= 1,149 m²/C

TERRE PAILLE : une barbotine liquide en terre argileuse et mélangée à une grosse quantité de paille préalablement cardée. Le matériau, très fibreux, léger, doté d'une propriété isolante, vient garnir une ossature en bois. Il est mis en œuvre en coffrage légèrement tassé. La terre paille permet de fabriquer des briques, des hourdis pour planchers en bois, des panneaux isolants en sous-toiture¹³⁸

Du point de vue écologique, le système constructif terre paille est un des plus satisfaisants et des plus économes en coût des matières premières. Il ne présente aucun effet sur la santé et en plus il brûle difficilement (résistance au feu) la respiration et le volant hygrométrique du complexe terre paille sont des facteurs de confort et de santé¹³⁹.

¹³⁸ l'architecte allemand Franz Volhard a été dans les années 1980 le pionnier du renouveau de cette technique qui a fait plusieurs émules et connaît un développement actuel ayant la faveur de « die grünen » (les verts).

¹³⁹ Jean Pierre Oliva, l'isolation écologique, édition, terre vivante, P 134

Annexe 3 : RESULTATS DE SIMULATION

HOURLY TEMPERATURES - Saturday 4th August (216)

terre

Zone: CH-invités1

Avg. Temperature: 23.5 C (Ground 0.3 C)

Total Surface Area: 207.417 m2 (406.2% flr area).

Total Exposed Area: 8656.342 m2 (16950.7% flr area).

Total South Window: 0.000 m2 (0.0% flr area).

Total Window Area: 1.386 m2 (2.7% flr area).

Total Conductance (AU): 26015 W/°K

Total Admittance (AY): 961 W/°K

Response Factor: 0.04

HOURL	T°int sim (terre)	T°ext	T°int mesurées	T°int sim (terre paille)	T°neutre inf	T°neutre sup	TEMP.DIF
0	33,5	32,9	33,8	26,4	24	28	-8
1	33,5	31,1	33,4	26	24	28	-6,3
2	33,5	30,7	34	25,9	24	28	-6
3	33,4	28,7	32,2	25,7	24	28	-4,2
4	33,4	30	32,9	25,8	24	28	-5,6
5	33,4	29,8	33	25,7	24	28	-5,4
6	33,5	30,9	31,7	25,8	24	28	-6,5
7	33,5	32	32,1	25,9	24	28	-7,5
8	33,5	34,7	33,3	26,1	24	28	-10,2
9	33,6	38,6	34	26,3	24	28	-13,9
10	33,6	43,7	34,5	26,7	24	28	-18,8
11	33,7	43,7	34,5	26,8	24	28	-18,8
12	33,7	40,9	34,5	26,7	24	28	-16,1
13	33,7	42,4	35,1	26,7	24	28	-17,6
14	33,6	42	36	26,5	24	28	-17,2
15	33,6	36,9	36	26,2	24	28	-12,3
16	33,5	35,8	37,2	26	24	28	-11,4
17	33,5	35,5	38	26,1	24	28	-11,1
18	33,5	35,8	36,5	26,2	24	28	-11,4
19	33,5	34,9	34,9	26,2	24	28	-10,5
20	33,5	34,4	34,8	26,3	24	28	-10
21	33,5	34,2	34,1	26,5	24	28	-9,6
22	33,5	33,5	34,3	26,5	24	28	-8,8
23	33,5	32,9	33,9	26,4	24	28	-7,9

ANNEXE 4 : ILLUSTRATIONS PRESENTEES AU PUBLIC



