

UNIVERSITE PIERRE MENDES FRANCE DE GRENOBLE

Ecole doctorale n° 454
« Sciences de l'homme, du politique et du territoire »

Hubert Guillaud

Architecture de terre : histoire, culture et société.

*« Un matériau n'est pas intéressant pour ce qu'il est
mais pour ce qu'il peut faire pour la société »*
(John.F.C. Turner)

Volume 2

Articles

présentés dans le cadre de l'Habilitation à Diriger les Recherches

Garant : Monsieur le Professeur
Rémi BAUDOUI

Mai 2007

UNIVERSITE PIERRE MENDÈS FRANCE DE GRENOBLE

**Ecole doctorale n° 454
« Sciences de l'homme, du politique et du territoire »**

Hubert Guillaud

Architecture de terre : histoire, culture et société.

*« Un matériau n'est pas intéressant pour ce qu'il est
mais pour ce qu'il peut faire pour la société »
(John.F.C. Turner)*

Volume 2

Articles

Présentés dans le cadre de l'Habilitation à Diriger les Recherches

Garant : Monsieur le Professeur
Rémi BAUDOUI

Mai 2007

Articles

Présentés dans le cadre de l'Habilitation à Diriger les Recherches

1. Contribution à l'histoire des cultures constructives et des architectures de terre

Architecture de terre en France

Guillaud 1996 : GUILLAUD, Hubert - *Architectures en terre de France : repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité*, in *Mediterrânao, Arquitectura de Terra*, n° 8/9 Semestral, Revistas de Estudios Pluridisciplinares sobre as Sociedades Mediterrânicas, Instituto Mediterrânico, Universidade Nova De Lisboa, Portugal, deuxième semestre 1996, 309 p., pp. 193-236.

.....Page 7

Figures des architectures de terre

Guillaud 1998 : GUILLAUD, Hubert - *Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes : François Cointeraux (1740-1830) pionnier de la construction moderne en pisé*, in *Les carnets de l'architecture de terre*, éditions CRATerre-EAG, monographie n°3, Villefontaine, France, janvier 1998, 47 p.

.....Page 23

Repères des architectures de terre dans le monde

Guillaud 2001 : GUILLAUD, Hubert - *Introduction à l'architecture de terre dans le monde*, in Zerhouni et Guillaud 2001 : *Architecture de terre au Maroc*, éditions ACR International, Courbevoie-Paris, premier trimestre (avril) 2001, 312 p. pp. 18-63.

.....Page 49

Guillaud 2003 : GUILLAUD, Hubert - *An approach to the evolution of earthen building cultures in Orient and Mediterranean Regions: what future for such an exceptional legacy?* In revue scientifique japonaise (archéologie) AL RAFIDAN, volume XXIV, 102 p., éd. The Institute for Cultural Studies of Ancient Iraq, Kokushikan University, Tokyo et Letterpress Co. Ltd, Hiroshima, Japon, 2003, 102 p., pp. 41-70 et 12 planches d'illustrations photographiques commentées.

.....Page 73

Guillaud 2004 : GUILLAUD, Hubert - *Des architectures de terre en Europe ; Histoire et patrimoine, modernité, actualité et prospective*, éd. CRATerre-ENSAG. Article de synthèse écrit dans le cadre d'un projet d'édition d'un ouvrage intitulé « Habiter la Terre », éditions du fonds belge Mercator.

.....Page 117

2. Connaissance du matériau et des techniques

Matériaux et techniques

Guillaud 1997 : GUILLAUD, Hubert - *Terminologie des matériaux de construction en terre, des modes d'utilisation et des techniques, et leur mise en situation historique*, in *Pour une histoire des architectures de terre*, mémoire de CEEA-Terre, Ecole d'Architecture de Grenoble, juin 1997, 518 p., pp. 165-238.

.....Page 133

Guillaud 2001 : GUILLAUD, Hubert - *Construire en blocs découpés et mottes de gazon*, in Actes des Echanges transdisciplinaires sur les architectures et les constructions en terre crue, 1 – *Terre modelée, découpée ou coffrée, matériaux et modes de mise en œuvre*, 17-18 novembre 2001, Ecole d'Architecture de Languedoc Roussillon à Montpellier, 17-18 novembre 2001, éd. de l'Espérou, Montpellier, France, 460 p., pp. 185-211.

.....Page 165

Guillaud 2004 : GUILLAUD, Hubert – *Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé*, in Actes des Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue, II – les techniques monolithiques, pisé et bauge, 28-29 mai 2005, Grands Atelier de l’Isle d’Abeau à Villefontaine, Editions de l’Espérou, Montpellier, 2007, pp. 188 – 220, 32 p.

.....Page 189

3. Méthodologie et état du savoir en conservation des patrimoines architecturaux en terre

Pathologie et diagnostique

Guillaud 1993 : GUILLAUD, Hubert - *La pathologie d’humidité et structurale des constructions en terre : une approche méthodologique de l’entretien et de la restauration utile aux autres constructions en matériaux tendres*, in *Atti del convegno internazionale : Le pietre da costruzione : il tufo calcareo e la pietra leccese*, Consiglio Nazionale delle Recherche – Progetto Finalizzato Edilizia, CNR e Istituto per la Residenza e le Infrastrutture Sociali, IRIS, Bari, Italie, 26-28 mai 1992, avril 1004, 888 p., pp. 33-69.

.....Page 225

Conservation des architectures de terre : état des savoirs et de l’art

Guillaud 2001 et 2003 : GUILLAUD, Hubert.- *Conservation des architectures de terre. Revue critique de la littérature scientifique (2^{ème} version)*, *The Getty Conservation Institute*, Collection « Recherche en Conservation », Los Angeles, USA, 1999 et nouvelle version définitive restructurée en mars 2001, 234 p. L’article que nous proposons, écrit à l’occasion de la conférence internationale Terra 2003 (Yazd, Iran) présente une synthèse de cette recherche.

.....Page 259

Guillaud 2005 : GUILLAUD, Hubert – *Concevoir, restaurer et réhabiliter une architecture de terre. Construire en terre en milieu sismique*. Article extrait de l’Encyclopédie du bâtiment : Cahier n° 17 : Construire en terre; chap. 2 – Recommandations de conception architecturale, éditions Weka, Paris, juin 2005, 73 p.

.....Page 289

Présentation résumée des articles proposés

1. Contribution à l'histoire des cultures constructives et des architectures de terre

Architecture de terre en France

Guillaud 1996 : GUILLAUD, Hubert - *Architectures en terre de France : repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité*, in *Mediterrânao, Arquitectura de Terra*, n° 8/9 Semestral, Revistas de Estudos Pluridisciplinares sobre as Sociedades Mediterrânicas, Instituto Mediterrânico, Universidade Nova De Lisboa, Portugal, deuxième semestre 1996, 309 p., pp. 193-236.

Cet article rédigé sur demande d'une revue universitaire portugaise propose une présentation du patrimoine architectural en terre français dans une perspective historique traduisant l'existence d'une culture constructive millénaire (de l'Antiquité aux époques gallo-romaines, au Moyen Age), élaborée à partir d'une documentation archéologique, et d'un corpus d'ouvrages, de recherches et d'études sur les architectures vernaculaires régionales du territoire national. A partir d'une définition des caractères régionaux entre le Moyen Age et les époques modernes, l'article décrit les caractères des architectures rurales en terre de France et propose une classification typologique rapportée aux modes d'exploitation et d'aménagement du territoire tels qu'ils ont été analysés par la Géographie humaine (Sorre, Demangeon), par des recherches d'inventaire (Corpus des architectures rurales) ou d'autres recherches ethnologiques (Cuisenier). Une présentation des différentes techniques de construction traditionnellement utilisées valorise les cultures du torchis, de la bauge, de la brique crue et du pisé. In fine, l'article ouvre les perspectives d'une architecture de terre en cours de réactualisation.

Héros des architectures de terre

Guillaud 1998 : GUILLAUD, Hubert - *Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes : François Cointeraux (1740-1830) pionnier de la construction moderne en pisé*, in *Les carnets de l'architecture de terre*, éditions CRATERRE-EAG, monographie n°3, Villefontaine, France, janvier 1998, 47 p.

Cet article approfondit une recherche antérieure dont les premiers éléments étaient rapportés dans un article précédent sur l'architecture en terre de France (Guillaud 1996) et propose une monographie sur l'un des grands « héros » français de l'architecture de terre, François Cointeraux (1740-1830). Une biographie synthétique fournit les principaux repères des apports de Cointeraux à l'avènement d'une véritable modernité de la construction en terre et à la constitution d'une base de savoir de nature encyclopédique. Les idées et découvertes, inventions de Cointeraux sont situées dans le contexte historique de l'époque des Lumières et post-révolutionnaires (Directoire, sociétés savantes, physiocrates et premiers agrariens). L'article éclaire ensuite le rayonnement international des fameux « Cahiers d'école d'architecture rurale » traduits en anglais, transférés vers les Amériques et l'Australie, et adaptés en plusieurs autres langues européennes (allemand, italien, danois, finnois). Cointeraux apparaît comme étant le premier auteur d'un traité de construction en « nouveau pisé », valorisé par de grands pairs comme Jean-Baptiste Rondelet mais aussi comme l'un des premiers promoteurs d'une formation spécialisée dont les répercussions sont aujourd'hui patentes.

Repères des architectures de terre dans le monde

Guillaud 2001 : GUILLAUD, Hubert - *Introduction à l'architecture de terre dans le monde*, in ZERHOUNI, Selma et GUILLAUD, Hubert, 2001 : *Architecture de terre au Maroc*, éditions ACR International, Courbevoie-Paris, premier trimestre (avril) 2001, 312 p. pp. 18-63.

Dans cet ouvrage produit avec une collègue architecte marocaine, je propose en première partie un article d'introduction d'une soixantaine de pages présentant les grands repères historiques de l'évolution des architectures de terre dans le monde. Cet article valorise le caractère universel des architectures de terre, leurs déclinaisons techniques et architecturales couvrant des grands sites du patrimoine mondial, archéologiques et historiques, des architectures monumentales, des ensembles urbains et des grandes traditions vernaculaires rurales. Il traduit aussi la permanence moderne et récente qui inscrit l'architecture de terre, des trajectoires de cultures constructives, dans la plus large perspective de l'histoire de l'architecture. L'article valorise des recherches antérieures notamment publiées avec notre mémoire de CEAA-Terre, en 1997 et depuis lors augmentées de synthèses nouvelles pour des régions récemment explorées.

Guillaud 2003 : GUILLAUD, Hubert - *An approach to the evolution of earthen building cultures in Orient and Mediterranean Regions: what future for such an exceptional legacy?* In revue scientifique japonaise (archéologie) AL RAFIDAN, volume XXIV, 102 p., éd. The Institute for Cultural Studies of Ancient Iraq, Kokushikan University, Tokyo et Letterpress Co. Ltd, Hiroshima, Japon, 2003, 102 p., pp. 41-70 et 12 planches d'illustrations photographiques commentées.

Cet article écrit en anglais et publié à la demande de la Société archéologique du Japon a été édité par l'Institut des Etudes Culturelles de l'Irak antique de l'Université Kokushikan de Tokyo. Il rend compte d'une communication sur l'histoire des architectures de terre dans les régions d'Orient et de Méditerranée présentée lors du séminaire scientifique annuel de cette société scientifique, sur invitation. Pour les régions d'Orient, l'article traduit l'évolution du village à la ville (des cultures néolithiques à la révolution urbaine entre le 7^{ème} et le 4^{ème} millénaire av. n.è.), et le développement régional d'une architecture monumentale fondée sur l'élaboration d'un savoir-faire remarquable et rayonnant de la construction de structures en arcs, voûtes et coupoles de briques crues. L'article valorise notamment l'excellence des cultures constructives persanes préislamiques et islamiques. Pour les régions méditerranéennes, l'article traduit l'évidence d'un transfert des technologies et des cultures constructives, à partir des régions d'Orient et du Levant vers l'Anatolie, les Balkans, les territoires de la Grèce continentale et le monde égéen puis vers la péninsule italique (Grande Grèce). Une évocation plus spécifique est faite sur la culture constructive en terre urbaine des carthaginois, puis des périodes romaines qui activent à leur tour un transfert sur plusieurs régions de l'empire. L'article donne les indices d'un renouveau récent des architectures de terre dans l'espace méditerranéen (Italie, Portugal) et se conclue sur l'évidence d'une forte mobilisation internationale en faveur de la conservation des patrimoines architecturaux en terre qui semble répondre à un nouvel enjeu culturel de préservation de la diversité technologique dans le domaine des cultures constructives.

Guillaud 2004 : GUILLAUD, Hubert – *Des architectures de terre en Europe ; Histoire et patrimoine, modernité, actualité et prospective*, éd. CRATerre-ENSAG, Grenoble, 2004, 12 p. et bibliographie.

Cet article de synthèse a été écrit pour la réalisation d'un ouvrage intitulé « Habiter la Terre » qu'il est prévu d'éditer avec le fonds belge Mercator. Nous reconstruisons ici une longue trajectoire historique des architectures de terre en Europe, depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours. Il s'agit de restituer les grands repères de cette trajectoire afin de fournir l'évidence d'un continuum des cultures constructives et architecturales de la terre crue, de leurs évolutions, adaptations aux situations historiques, sociétales et culturelles. Cette trajectoire permet d'identifier cinq grandes périodes de l'histoire où la construction et l'architecture de terre sont particulièrement valorisées pour la production de l'habitat et l'évolution des établissements humains, soit les époques de l'Antiquité gréco-romaine jusqu'au Haut Moyen Age (période de « colonisation » des territoires par la Grèce puis Rome), la période du Moyen Age, obscure en legs littéraire mais utilisant toujours la terre crue pour l'habitat rural, la période de la Renaissance, du Siècle des Lumières et jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle qui développe un savoir construire en terre de nature encyclopédique et qui voit se fixer les grands caractères de l'habitat rural dans les pays d'Europe, puis la période récente de la fin du 20^{ème} siècle à nos jours où la construction en terre se situe dans un cycle renouvelé de grands questionnements de société sur le rapport à l'environnement (écologie, énergies) et à la diversité culturelle (identités, valeurs culturelles), dans la perspective du développement local durable.

2. Connaissance du matériau, des techniques

Matériaux et techniques

Guillaud 1997 : GUILLAUD, Hubert - *Terminologie des matériaux de construction en terre, des modes d'utilisation et des techniques, et leur mise en situation historique*, in *Pour une histoire des architectures de terre*, mémoire de CEAA-Terre, Ecole d'Architecture de Grenoble, juin 1997, 518 p., pp. 165-238.

Cet article, extrait de notre mémoire de recherche de CEAA-Terre (1997) en constituant une deuxième partie, propose d'établir la typologie des matériaux de construction en terre, des techniques et des modes de mise en œuvre, avec une mise en situation historique qui permet d'apprécier l'évolution des cultures constructives en terre. L'un des premiers objectifs scientifique est ici de donner une référence sémantique et lexicologique pour des matériaux et des techniques de construction en terre dont les dénominations sont longtemps restées confuses et génériques (tout était pisé ou

torchis) alors que l'on peut clairement distinguer une douzaine de familles de modes d'utilisation constructive et architecturale du matériau terre qui ont été identifiés avec le « Traité de construction en terre » (Houben et Guillaud 1989, 1995) : la terre creusée ; la terre couvrante ; la terre en remplissage ; la terre découpée ; la terre comprimée ; la terre façonnée ; la terre empilée ; la terre moulée ; la terre extrudée ; la terre coulée ; la terre-paille, la terre en garnissage.

Guillaud 2001 : GUILLAUD, Hubert - *Construire en blocs découpés et mottes de gazon*, in Actes des Echanges transdisciplinaires sur les architectures et les constructions en terre crue, I – Terre modelée, découpée ou coffrée, matériaux et modes de mise en œuvre, 17-18 novembre 2001, Ecole d'Architecture de Languedoc Roussillon à Montpellier, 17-18 novembre 2001, éd. de l'Espérou, Montpellier, France, 460 p., pp. 185-211.

Cet article valorise un avancement des recherches menées sur la typologie des matériaux et des techniques de construction en terre en s'attachant particulièrement à une culture constructive très peu étudiée jusqu'alors et considérée à tort comme désuète, le bloc de terre découpé ou « gazon ». L'article introduit des repères historiques sur l'emploi du gazon dans l'Antiquité à partir d'un corpus de textes des époques romaines et montre toute l'importance de son emploi pour l'édification des habitats au Moyen Age dans la plupart des pays européens septentrionaux. Sont ensuite présentées les grandes cultures vernaculaires de Grande-Bretagne (Ecosse et Irlande), d'Islande. Puis, l'étude d'un fonds iconographique remarquable de la Société Historique du Nebraska, legs de la collection d'un photographe, Solomon Butcher, permet de rendre compte de la culture des « soddies » qui a été considérablement développée aux Etats-Unis d'Amérique, au 19^{ème} siècle, par les colons paysans des états du centre. On précise aussi le mode de production des matériaux découpés à même le sol et les modes de mise en œuvre traduisant une parfaite maîtrise de la culture constructive du « gazon ». En deuxième partie, l'article évoque des variantes de matériaux en terre découpée repérées dans différentes traditions vernaculaires, en Afrique et en Amérique latine. L'article fait également le point sur l'ensemble de la terminologie et de la lexicologie internationales pour l'ensemble des variantes de matériaux et procédés de construction en blocs découpés. Enfin, l'article s'attache à mettre en perspective un renouveau de cette culture constructive dans le contexte d'une architecture écologique qui, en Uruguay, prolonge une grande tradition des « ranchos » ruraux.

Guillaud 2005 : GUILLAUD, Hubert – *Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé*, in Actes des Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue, II – les techniques monolithiques, pisé et bauge, 28-29 mai 2005, Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau à Villefontaine, Editions de l'Espérou, Montpellier, 2007, pp. 188 – 220, 32 p.

Cet article nous permet de proposer une approche globale sur la culture constructive du pisé à partir des données qui ont été valorisées par un corpus de recherche que l'on a investi au début des années 1980 et développé par la suite. Cet article entend poser des jalons pour baliser une histoire des tendances d'évolution des cultures constructives et architecturales du pisé. L'ambition est grande mais l'objectif de l'exposé sera limité à l'établissement d'un socle de références à la fois littéraires et techniques constituant un corpus essentiel que nous interrogeons de façon à fournir des éléments de lecture de cette évolution, des traditions à la modernité, et à la contemporanéité. En effet, l'histoire du pisé semble montrer une pérennisation séculaire des modèles technologiques et des cultures constructives et architecturales jusqu'à l'avènement récent du béton. Ce matériau moderne de substitution introduit d'autres possibilités techniques, d'autres modèles de référence que traduisent des formes nouvelles de mixité des cultures constructives s'établissant entre la terre et le béton, voie dès lors ouverte vers l'association du pisé à un registre beaucoup plus large de matériaux, de systèmes constructifs et d'expressions architecturales qui sont en mesure de pouvoir fonder une véritable contemporanéité du pisé. Cette phase d'évolution qui est située à la fin du 19^{ème} siècle avec les premiers pisés de mâchefer, puis avec les pisés béton, dessine les traits d'une nouvelle identité de la grande tradition du pisé qui sort alors de sa gangue traditionnelle. Une nouvelle identité dont se saisissent dès lors des architectes et des entrepreneurs tout au long du 20^{ème} siècle avec des temps de valorisation et des temps d'arrêt, avec une reprise en main contemporaine engagée dans les années 1970-80. Ils sont les passeurs vers le futur d'un long et grand héritage culturel de l'humanité.

3. Méthodologie et état du savoir en conservation des patrimoines architecturaux en terre

Pathologie et diagnostique

Guillaud 1992 : GUILLAUD, Hubert - *La pathologie d'humidité et structurale des constructions en terre : une approche méthodologique de l'entretien et de la restauration utile aux autres constructions en matériaux tendres*, in *Atti del convegno internazionale : Le pietre da costruzione : il tufo calcareo e la pietra leccese*, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Progetto Finalizzato Edilizia, CNR e Istituto per la Residenza e le Infrastrutture Sociali, IRIS, Bari, Italie, 26-28 mai 1992, avril 1004, 888 p., pp. 33-69.

Cet article permet de faire le point sur des recherches antérieurement développées sur la question du diagnostic de l'état des ouvrages en terre dans le contexte marocain (CRATerre, Doat, Guillaud et al. 1983) et sous contrat avec le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment concernant les dispositions constructives du projet d'architecture de terre (CRATerre, Odul, Guillaud et al 1985). Il propose l'exposé jusqu'alors inédit d'une méthode de diagnostic des pathologies d'humidité et de structure des ouvrages en terre en mettant en relation l'observation des symptômes pathologiques avec l'analyse des causes et de l'origine des causes, de façon à bien cerner les modes d'intervention préventifs et curatifs pour des interventions en restauration ou réhabilitation. La méthode qui est proposée pour les constructions en terre présente l'intérêt d'être aussi transposable à un plus large éventail d'ouvrages en pierres tendres qui ont été couverts par le colloque durant lequel elle a été présentée. Cette méthode de diagnostic que l'on a enrichie et précisée au cours de ces dernières années constitue à ce jour un outil de référence pour les professionnels qui en font usage.

Conservation des architectures de terre : état des savoirs et de l'art

Guillaud 2001 et 2003 : GUILLAUD, Hubert.- *Conservation des architectures de terre. Revue critique de la littérature scientifique (2^{ème} version)*, *The Getty Conservation Institute*, Collection « Recherche en Conservation », Los Angeles, USA, 1999 et nouvelle version définitive restructurée en mars 2001, 234 p. L'article présente une synthèse de cette recherche présentée lors de la conférence internationale Terra2003 (Yazd, Iran).

Cette recherche qui a été réalisée sous contrat avec le Getty Conservation Institute (GCI), dans le cadre du plan d'action de recherche scientifique du Projet TERRA, propose une revue critique de la littérature scientifique produite au cours des 20 dernières années du 20^{ème} siècle alors que le domaine spécifique de la conservation des architectures de terre se constituait et se développait, notamment sous l'impulsion de conférences internationales successives, puis des projets GAIA et TERRA, conjointement définis et pilotés par le CRATerre, l'ICCROM et le GCI. Un inventaire complet de la littérature accessible dans les fonds documentaires de ces trois organisations partenaires a été fait qui a repéré 1269 documents (livres, recherches, articles, communications) à partir desquels on a opéré une sélection serrée de 621 documents constituant un corpus de textes de référence qui traduisent les développements et les apports récents de la recherche dans le domaine. Cette recherche a été structurée en trois grands chapitres qui sont : i) Connaissance et analyse du matériau terre ; ii) Pathologie et diagnostic des architectures de terre, et iii) Interventions, traitements et évaluation. Chacune de ces parties couvre un ensemble de questions qui sont traitées dans la littérature que l'on a révisée nous ayant permis de dresser un état des savoirs et des pratiques dans le domaine de la conservation des architectures de terre.

Guillaud 2005 : GUILLAUD, Hubert – *Concevoir, restaurer et réhabiliter une architecture de terre. Construire en terre en milieu sismique*. Article extrait de l'Encyclopédie du bâtiment : Cahier n° 17 : Construire en terre; chap. 2 – Recommandations de conception architecturale, éditions Weka, Paris, juin 2005, 73 p.

Ce Cahier n°17 édité dans l'Encyclopédie du Bâtiment en 2005, constitue une remise à jour d'une publication antérieurement réalisée en 1990, à la demande de l'éditeur. La première version proposait une synthèse des principaux chapitres proposés dans le « Traité de Construction en terre » (Houben et Guillaud 1984, 1989), à destination des professionnels de l'architecture et de la construction. Par rapport au Traité de référence, ces articles remaniés du Cahier n° 17 actualisent l'information sur les développements récents, nationaux et internationaux, de l'architecture de terre. Il fournit un ensemble de recommandations utiles pour la bonne conception constructive et architecturale en terre et fait un point inédit dans le domaine des pratiques de restauration des patrimoines architecturaux, marché de travail très porteur pour les architectes et les entreprises. Ce sont ces derniers aspects relatifs aux recommandations de conception et aux pratiques de restauration que l'on présente dans ce corpus d'articles.

Architectures en terre de France : repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité

(article publié dans la revue portugaise *Mediterrâneo* – Université de Lisbonne – 1996)

Résumé

Nous tentons de dresser ici un état de la question de la construction et de l'architecture de terre en France, dans une triple approche.

- Premièrement, celle de l'histoire, en tentant de poser des repères de l'évolution des cultures constructives, depuis l'antiquité néolithique jusqu'aux temps modernes que nous situons à l'époque des Lumières. Le XVIII^e siècle est en effet propice à un regain d'intérêt porté à une architecture de terre "améliorée" ou "renouvelée" dans un contexte d'amélioration de l'habitat des populations rurales où sont valorisés les vertus d'un "nouveau pisé" à travers une production littéraire d'essais et de pamphlets de plusieurs personnalités (G.C. Goiffon, F. Boulard, Abbé Rozier) dont les propos successifs seront rassemblés dans une œuvre unique en son importance quantitative et pour son rayonnement international, celle de François Cointeraux (1730-1840), architecte, entrepreneur lyonnais prosélyte en la matière. Les référents et repères historiques de cette époque des Lumières, les articulations qui peuvent être faites entre l'héritage des cultures constructives jusqu'alors fondées dans l'antiquité et cette époque moderne sont indispensables pour mieux comprendre l'identité et les caractères actuels du patrimoine architectural en terre national qui sont redéfinis en même temps que la société et l'économie rurale sont en pleine mutation.
- Deuxièmement, en dressant un état général de ce patrimoine architectural par l'évocation des typologies constructives (torchis, bauge, adobe et pisé) et architecturales majeures (sur la base d'exemples d'architectures régionales typées les illustrant).
- Enfin, troisièmement, en évoquant l'histoire récente qui témoigne d'une dynamique contemporaine de la recherche, de la formation et des réalisations tendue vers l'avenir des architectures de terre en France et dans une plus large géographie internationale. Un avenir porté par le rayonnement d'une pensée technique constituée en science de la construction en terre entre les années 50 et 90 de ce siècle. Un avenir également porté l'émergence de mouvements en faveur des technologies "alternatives" (ou "appropriées") au service d'une architecture "écologique" (ou d'une "bioarchitecture") qui redonnent toute leur dimension aux matériaux de construction "naturels". Dans ceux-ci, le matériau terre reprend une position d'avant-garde dans l'éventail qui rassemble aussi la pierre, le bois et les végétaux. A côté du "pisé" ou de la "brique de terre comprimée" qui connaissent un succès certain, on observe aussi une réactualisation surprenante de techniques très anciennes (le "torchis" et sa forme plus contemporaine de "terre-paille") qui avaient été écartées par les rénovateurs modernes du XVIII^e siècle, pour leur caractère précaire ou rudimentaire. Les connaissances scientifiques actuelles sont désormais en mesure de les codifier et donc de les valoriser auprès des praticiens de la construction.

Cette première tentative de synthèse sur l'histoire de l'architecture de terre en France ne peut, dans les limites de cet article, qu'autoriser un exposé général dont nous savons l'insuffisance. Nous souhaitons pourtant tenter cet éclairage en posant les repères d'une "histoire raisonnée". Une telle approche fait aujourd'hui défaut et nous semble indispensable pour ajouter à la connaissance scientifique du sujet. Après avoir travaillé sur des objets de recherche bien cernés (telle ou telle technique, tel ou tel aspect du patrimoine régional ou local, telle ou telle personnalité ayant marqué l'histoire française des architectures de terre, ...), nous percevons la nécessité d'un enrichissement certain à partir d'une réflexion qui ajouterait à une approche de caractère culturelle généraliste par sa dimension scientifique. Cette dimension s'impose dès lors que sont redéfinies les politiques et les stratégies dans le domaine de la préservation des patrimoine architecturaux en terre dans l'ensemble des pays européens, dès lors que la technologie de construction en terre connaît une nouvelle phase d'application pour l'architecture dans le monde, au "Nord" (pays dits "développés") comme au "Sud" (pays dits "en développement") et que les perspectives d'évolution future, pour être mieux entrevues puis engagées, méritent d'être fondées sur une connaissance de l'histoire, toute évolution prolongeant cet héritage.

Notre propos s'appuie à la fois sur des recherches d'équipe, menées au sein du laboratoire de recherche CRATerre-EAG au cours de ces quinze dernières années, et sur un matériau scientifique très riche élaboré par la communauté des chercheurs français, mais aussi d'autres pays, dans des champs disciplinaires variés (l'archéologie, l'histoire, la géographie, l'architecture). Que l'on soit ici assuré de notre modestie dans ce travail et surtout de notre gratitude pour l'ensemble de la communauté scientifique qui contribue à un enrichissement permanent des connaissances dans ce champ de recherche et dont les travaux constituent nos sources et références.

1 - Une culture constructive millénaire. De l'antiquité aux époques Gallo-romaines, quelques référents et repères.

L'influence des cultures constructives antiques d'Europe centrale sur l'architecture en bois et torchis des régions septentrionales.

Entre le V^e et le IV^e millénaire av. J.C., l'Europe centrale et occidentale connaissent une grande mutation qui correspond à l'extension de la culture danubienne (céramique rubanée). Rejoignant l'Ouest européen, celle-ci se scinde en deux courants distincts au Nord du Lac de Constance. L'un remonte vers le Nord, rejoint le Bassin Parisien et la Belgique; l'autre débouche par la Porte de Bâle et s'installe dans les plaines de l'Ill, de la Thur et de la Fecht. On a repéré de nombreux établissements de ces populations danubiennes, en Alsace ¹. L'habitat danubien développe un plan rectangulaire allongé, de longueur variable (10 à 40 m.) et de largeur quasi fixe (de 6 à 8 m.). Une structure de gros poteaux circulaires (de 0,50 à 1 m de diamètre) disposés en cinq rangées définit un espace en quatre nefs alors qu'une rangée en périmètre est constituée d'un nombre plus important de poteaux facilitait sans doute le tressage d'un clayonnage de branches et le treillage de roseaux recouverts d'un torchis de terre argileuse. La toiture devait être en bâtière de chaume. Ces habitats sont disposés en semis plus ou moins parallèle selon une orientation Nord-Est / Sud-Est, avec une ouverture en pignon protégée du vent dominant. La culture constructive danubienne pose les référents techniques et typologiques de la construction des maisons en longueur à ossature bois et torchis qui dominera en Europe pendant plusieurs millénaires, jusqu'aux époques récentes de notre histoire, et selon des types peu transformés. Par exemple, au III^e millénaire (vers 2 700 av. J.C.), le Village des Baigneurs de Charavines ² (Lac de Paladru, Isère), conservé par des dépôts lacustre, restitue les mêmes principes de structure mais ces habitats en longueur ne sont plus qu'à deux nefs (3 rangées de poteaux). On n'observe pas de grandes modifications structurelles jusqu'au passage à l'Age du Bronze (entre 2 200 et 1 800 av. J.C.), qui correspond à la multiplication des établissements celtes dans l'ensemble de la Gaule. En effet, au Bronze Ancien (1 800-1 500), l'habitat établi en plaine est toujours en bois et torchis et de type similaire. Ce n'est qu'au Bronze Moyen (1 500-1 200) qu'apparaît l'habitat en oppidum, établi sur des sites dotés de systèmes de défense bâtis en pierre et blocage de pierraille et de terre (Kugele, Hohlandsberg, Haut-Rhin, Alsace, p.e.), avec une évolution vers le plan quadrangulaire et des solutions de superstructures en bois et torchis élevées sur des soubassements en pierres. Cette évolution est confirmée au Bronze Final (1 200-750) avec une densification de l'habitat en oppidum par rapport à l'habitat de plaine, une prédominance du plan quadrangulaire et, progressivement, un développement des solutions de charpente à poteaux et entrails correspondant à des toitures plus larges. La Premier Age du Fer, ou Hallstatt (750-450), accentue cette distinction entre habitat en situation d'oppidum et de plaine, entre une fonction urbaine (activités artisanales et commerciales) et une fonction rurale (activités agricoles). On assiste alors à la création de véritables chefs-lieux régionaux (Britzgyberg, Haut-Rhin, Alsace, p.e.). Les habitats quadrangulaires de plain-pied, à sols tapissés d'argile et à parois de gros poteaux et clayonnage tressé revêtu de torchis, cohabitent avec les structures de type *blockbau* (bois empilés), de culture germanique. Les époques de la Tène (450-120) sont associées à une modification de la structure des habitats avec l'apparition de la maison fosse (profonde de 0,50 m environ), de plan rectangulaire (Rosheim, Bas-Rhin, Habsheim, Haut-Rhin, Alsace, p.e.). Mais, dans les régions nord-est de la Gaule, l'habitat celte en oppidum, demeure principalement de type quadrangulaire de plain-pied, aux dimensions assez confortables, avec des cloisons en poteaux verticaux et clayonnage revêtu de torchis de terre argileuse. Dans l'ensemble des régions septentrionales de la France, se sont ces cultures constructives héritées du lointain fond danubien, en bois et en torchis, qui sont dominantes. Elles donneront naissance, plus tard, à la tradition du colombage, que l'on peut observer aujourd'hui en Alsace, en Champagne, en Haute et Basse Normandie, en Picardie. Mais auparavant, cette tradition a été influencée par d'autres apports nordiques, notamment ceux des Angles et des Saxons, des Normands et même des Vikings, aux époques de la fin du Haut Moyen Age qui précèdent la définition des caractères actuels.

L'architecture en terre méridionale, sous influence des cultures constructives méditerranéennes.

Sur les territoires méridionaux d'actuelle Provence, Languedoc et Roussillon, l'Age du Fer (750-50 av. J.C.) a aussi contribué au développement d'un habitat en oppidum (277 sites ont été répertoriés dans le Var, plus de 300 dans les Alpes et plus de 200 dans le Gard) utilisant les techniques du bois et du torchis ou de la bauge. Les influences helléniques sont introduites avec la fondation des premiers comptoirs portuaires qui vont inaugurer une ère de prédominance grecque se construisant sur un jeu d'alliances commerciales avec les populations celtes locales, notamment avec les Segobriges puis avec les Salyens qui vont contribuer à fédérer les populations indigènes. Lorsque les implantations grecques vont se multiplier (*Phocea* - Marseille, *Antipolis* - Antibes, *Nikaia* - Nice), la civilisation des

¹ SCHWEITZER, J., *L'habitat rural en Alsace des origines à l'an 800*, in Saisons d'Alsace n° 64, *La maison paysanne en Alsace*, 124 p., pp. 8-30, éd. istra, Strasbourg, 1977.

² *La vie au Néolithique, Charavines un village au bord d'un lac il y a 5 000 ans*, in revue Histoire et Archéologie n° 64, juin 1982, pp. 23-37, sous la direction de Aimé Bocquet et André Houot, du Centre de Documentation de la Préhistoire Alpine et de ses membres..

oppida va très vite adopter la brique crue qui se substituera au torchis. Les influences carthaginoises avaient déjà contribué à l'introduction de ce matériau (en Sicile, Sardaigne puis Gaule méridionale) mais aussi du pisé, dont les emplois sont confirmés sur de nombreux sites, tels ceux de Ruscino, Enserune, La Lagaste (Rouffiac d'Aude, Pomas, près de Carcassonne, Roussillon) et d'Entremont (Bouches-du-Rhône). Les travaux récents de fouilles entreprises sur les sites méditerranéens confirment une grande extension de l'emploi de la brique crue mais aussi du torchis, dans l'ensemble de la Gaule méridionale³. Pendant la Tène (Deuxième Age du Fer, vers 450), sur les sites à l'intérieur des territoires côtiers, les établissements du IV^e au II^e siècle prennent la forme de sites fortifiés⁴. Tel est le cas de *Ambrussum* (Villetelle, dans l'Hérault), de Nages (Gard), d'Entremont (Bouches-du Rhône), de La Lagaste (Aude). Sur ce site, on peut observer des habitats à soubassement de pierre sèches liées à l'argile ainsi que des éléments en briques crues. Mais se sont les sites du Languedoc sous influence hellénique et notamment ceux dominés par l'apogée économique de *Ampurias*-Emporion (Catalogne), qui vont privilégier l'emploi de la brique crue. Ainsi, à Lattes (Hérault), au III^e s. av. J.C., la brique crue est-elle utilisée comme pavement de sol⁵. En Arles, sur un habitat également daté du III^e s., implanté hors les murs de la cité, une cloison en briques de terre repose directement sur un plancher à lambourdes. Ce matériau est également repéré à Vaison-la-Romaine (Drôme), selon un module qui s'apparente déjà à celui que décrira plus tard Vitruve dans son *De Architectura*. Mais dans cette cité, seuls les étages semblent avoir été bâtis en briques crues, sur des premiers niveaux en pierres. Ces principes de construction domineront dans l'ensemble du pourtour méditerranéen (à Notre-Dame-de-Pitié, près de Marignane, à Pierredon-Eguilles, près d'Aix-en-Provence, p.e.). Puis, vers 130 av. J.C., la menace du Royaume Arverne, en Gaule méridionale est de plus en plus pressante. Plusieurs interventions conduites par les Romains visent à protéger les massaliotes (*Massalia*-Marseille) contre les Voconces, les Salyens, les Allobroges et les Arvernes et contribuent à installer la présence romaine sur le littoral. Cette présence se renforce avec la création de la Narbonnaise qui suit la création de Narbonne par *Narbo Martius* en 120-118 av. J.C. Plusieurs campagnes romaines seront à nouveau menées contre les Cimbres et les Teutons (victoire de *Marius* à la Sainte Victoire, Aix-en-Provence, en 102) jusqu'à ce que le midi de la Gaule soit déclaré Province Consulaire Romaine. Cette présence romaine désormais légitimée va considérablement influencer l'habitat qui va très vite adopter le plan italique organisé autour de cours, puis le péristyle. Mais, lorsque César entreprend la conquête de la Gaule (59-51 av. J.C.), il observe l'existence d'une construction vernaculaire où prédomine l'emploi de matériaux "rudimentaires". Les *vici* (bourgs agricoles) et les *aedificia* dont il nous parle à plusieurs reprises dans la Guerre des Gaules⁶ sont sans doute bâtis en bois et torchis, ou en bauge (terre empilée). Sa description du *murus gallicus* évoque l'emploi de la pierre, du bois et de la terre. L'implantation romaine en Gaule va permettre assez rapidement l'épanouissement d'une civilisation de caractère urbain et l'évolution de nombreux chefs-lieux à la dimension de la ville. A partir du I^e s. ap. J.C., le clayonnage en torchis est remplacé par le hourdage en briques crues, en maints sites. On peut le constater non seulement sur les territoires méridionaux (déjà influencés par les grecs, comme à Lattes et à Nîmes⁷) mais aussi dans les territoires intérieurs. Tel est le cas de *Lugdunum*-Lyon) comme en témoignent les fouilles réalisées sur les Hauts-de-Saint-Just, dans la rue des Farges, la Montée de Loyasse, au Verbe Incarné mais aussi à Vienne, à Saint-Romain-en-Gal et à Saint-Colombe. Les habitats de ces époques augustéennes sont en parois d'ossature bois remplies de briques crues revêtues d'un enduit bicouche en terre et en chaux, peint⁸. Mais au-delà des seules régions méridionales, la colonisation romaine dans l'ensemble des provinces européennes occidentales de l'empire, correspond à une densification de l'habitat groupé en villages agricoles et en bourgs commerciaux, les *vici*, et à la construction de nombreuses propriétés agricoles des colons propriétaires ruraux romains, les *villas*. Les populations celto-gauloises, progressivement assimilées par la "*pax romana*" font encore grand usage des techniques de construction en terre traditionnelles, tels le bois et le torchis, la bauge mais sans doute aussi du pisé. Strabon⁹ observe que "*les gaulois construisent de grandes maisons de forme circulaire en planches et en claies et les recouvrent d'un épais toit de chaume*". De même, Tacite¹⁰, à propos de l'habitat

³ DE CHAZELLES, C.A., FICHES, J.L. et POUPET, P., *La Gaule méridionale*, in Documents d'Archéologie Française, DAF n° 2, *Architecture de terre et de bois*, 191 p., pp. 61-71 où les auteurs repèrent 42 sites où prévaut l'utilisation du torchis et 32 sites où prévaut l'utilisation de la brique crue, entre le III^e s. av. J.C. et le 1^e s. ap. J.C..

⁴ FICHES, J.L., *Habitat et Fortifications; la civilisation des oppida*, in *Revue Archeologia* n° 35, 1979.

⁵ DE CHAZELLES, C.A. et POUPET, P., in *Revue LATTARA* 1, 1988, *L'emploi des adobes dans l'aménagement de l'habitat à Lattes, au III^e s. av. n. è. : les sols et les banquettes*, 7 p. Voir aussi, des mêmes auteurs, *LATTARA* 2, *Analyses archéologiques et sédimentologiques des matériaux de terre crue de l'architecture protohistorique à Lattes, provenance et technologie*, pp. 11-32, Lattes, 1989.

⁶ *De Bello Gallico*, I, 5, 2; II, 7, 3; III, 29, 3; IV, 19,1; VI, 6, 1; VII, 14, 5.

⁷ DE CHAZELLES, C.A., FICHES, J.L. et POUPET, P., op. cit., note 3, à propos de fouilles menées à Nîmes (Gard), sur la "maison Solignac".située aux abords du Temple de Diane, où les cloisons de grosses briques crues (60 x 36) sont utilisées en hourdage d'une ossature bois à poteaux corniers et potelets marquant la division de l'espace. Voir aussi, de DE CHAZELLES, C.A. et POUPET, P., *L'emploi de la terre crue dans l'habitat Gallo-Romain en milieu urbain : Nîmes*, in *Revue Archéologique de Narbonnaise*, Tome XVII, pp. 71-101, éd. du C.N.R.S., Paris, 1984.

⁸ DESBAT, A., *La région de Lyon et de Vienne*, in Documents d'Archéologie Française, DAF n° 2, *Architecture de terre et de bois*, 191 p., pp. 75-83.

⁹ in *Géographie*, IV, 4, 3 et XII, 1, 67.

¹⁰ in *Germania*, XVI, 3.

des germains, notait "qu'ils n'emploient même ni moellons, ni tuiles; à toutes fins, ils se servent de matériaux bruts (*materia informi*) sans se soucier de la beauté ou de l'agrément". Les très nombreux sites d'implantations des villas gallo-romaines permettent de distinguer le plus souvent deux parties; l'une, la *pars urbana*, ou partie résidentielle, souvent construite en pierres puis en briques cuites aux époques tardives de l'empire, l'autre, la *pars rustica* ou *agraria*, bâtiments agricoles construits en matériaux et techniques locales traditionnelles, soit le plus souvent en bois et torchis, en bauge ou en briques crues¹¹. La plupart des sites confirment l'existence d'un soubassement en moellons de pierres ou en maçonnerie de blocage, ce qui constitue une évolution qualitative certaine par rapport aux solutions d'ossature bois fichées à même le sol qui ont longtemps perduré. Roger Agache et Bruno Bréart qui ont pratiqué des observations aériennes, notent¹² : "dans les grandes plaines du Nord de la France, de Picardie ou de Normandie que nous avons prospecté d'avion, il apparaît que seules les fondations étaient en pierres (...) même pour les plus remarquables des habitations principales des plus grandes villas dont le plan est parfois celui de véritables palais (...). A fortiori, les villas, leurs dépendances ainsi que les sanctuaires ruraux comme les fana, avaient la plus grande partie de leurs murs en matériaux légers, terre et bois". Par ailleurs, ces auteurs précisent : " pour les nombreuses grandes villas (...), la quasi totalité des matériaux utilisés sont prélevés aux abords immédiats des constructions, ici, comme dans toute la Gaule. Or c'est évidemment de la terre dont on dispose le plus facilement sur place, à défaut d'autres matériaux. (...) On remarque presque toujours d'avion, aux abords immédiats, une ou plusieurs anciennes carrières, certaines de ces dépressions ayant été ensuite transformées en mare" (il s'agit d'une pratique qui perdure jusqu'aux époques récentes de l'histoire de la construction en terre, dans bien des régions françaises). Les *vici*, quant à eux, sont essentiellement bâtis en matériaux et techniques traditionnelles qui varient selon les régions et leurs cultures constructives. En région de montagne, c'est la pierre et le bois qui dominent, avec la maçonnerie de moellons bâtie au mortier de terre ou un système de palissades en bois remplies de blocage en pierraille et terre, ou encore le système *blockbau* (billes ou madriers de bois empilés, parfois liaisonnés au mortier de terre argileuse). En plaine, c'est plutôt l'ossature bois et le clayonnage revêtu de torchis, la bauge ou encore la brique crue en hourdage d'une structure en bois élevée sur un soubassement de moellons de pierre. Lorsque la brique crue est employée en maçonnerie porteuse pour les murs maîtres, les cloisons intérieures restent le plus souvent des galandages en torchis ou à soles et potelets de bois avec hourdage en briques crues¹³.

Des époques Gallo-Romaines à la fin du Haut Moyen Age.

Les invasions alémanes du 2^e s. ap. J.C. déstabilisent les populations qui quittent les sites de plaines et désertent les *vici* établis près des riches *villas* pour trouver refuge dans des *castellas* protégés. Il faudra attendre les derniers coups de boutoir des invasions "barbares" pour voir s'effondrer les réalisations gallo-romaines et observer un retour à une culture constructive plus élémentaire, précaire. La vie agricole supplante alors la vie urbaine et aux bâtiments groupés en *vici* succèdent de nombreuses fermes, hameaux et petits villages dont beaucoup sont à l'origine des établissements actuels. Mais ce ne sera que bien plus tard, avec le Bas Moyen Age (au-delà du X^e siècle) que se mettront en place la topographie et la toponymie historiques des régions rurales d'Europe centrale et occidentale. Par exemple, en Alsace, à Liebersheim, les occupations d'époques mérovingiennes (VI^e au VIII^e siècles) sont encore caractérisées par des établissements qui ont l'aspect d'un semis de cabanes quadrangulaires, légèrement oblongues et de petite taille (3 x 2 m.) du type maisons fosses profondes (jusqu'à 1,20 m) dont on est même pas sûr qu'elles furent construites en terre mais plutôt en matériaux légers (bois et végétaux), traduisant le climat d'insécurité, dans ces temps du Haut Moyen Age que l'on a qualifié "d'obscur". Les époques carolingiennes, inaugurées au VIII^e s. et qui se poursuivront jusqu'au IX^e s. contribuent à la définition territoriale de la France et à l'aménagement du paysage rural à partir des unités agricoles des époques précédentes. Même si s'amorce la création de villages autour d'églises ou dans la proximité relatives d'abbayes qui remplissent un rôle culturel et économique, c'est encore une époque de grande instabilité qui rejailit sur les formes de l'habitat, en majorité précaire et temporaire. On est bien loin des modes de construction élaborés des époques gallo-romaines et ce sont à nouveau les solutions de type *blockbau* ou d'ossature bois et torchis qui dominent. La caractérisation des cultures constructives régionales de l'architecture en terre française, avec une claire distinction entre les cultures septentrionales, qui adoptent la construction en bois et torchis ou en bauge et les cultures méridionales, qui adoptent la brique crue et aussi le pisé (terre coffrée) ne s'opère qu'à partir du Bas Moyen Age (X^e s.), sur la mémoire d'un fond culturel antique peu à peu redécouvert qui avait déjà établi cette distinction. Mais, ces caractères régionaux différenciés ne se fixeront vraiment qu'à la période suivante qui s'étend jusqu'à la Renaissance (du X^e au XV^e s.)¹⁴.

¹¹ DOFFUS, A. in *Bulletin de la Société Nationale des Antiquaires de France*, p. 122, 1962.

¹² AGACHE, R. et BREART, B., *La terre crue dans les constructions traditionnelles*, in revue *Histoire et Archéologie* n° 79, déc. 83-janv. 84, pp. 16-23. Voir aussi, de AGACHE, R., *Les grandes villas de Gaule Belgique*, in *Revue Histoire et Archéologie* n° 58, nov. 81, pp. 20-27.

¹³ DE CHAZELLES, C.A., FICHES, J.L. et POUPET, P., *La Gaule Méridionale*, in *DAF* n° 2, op. cit. note 3.

¹⁴ CHAPELOT, J. et FOISSIER, R., *Le village et la maison au Moyen Age*, Bibliothèque d'Archéologie, éd. Hachette Littérature, 357 p., Paris, 1980.

La définition des caractères régionaux de l'architecture de terre française du Bas Moyen Age aux époques modernes.

L'essor politique des Capétiens (987-1180), prépare les grandes mutations des XII^e et XIII^e siècles qui verront la naissance et la diffusion des types caractéristiques de l'habitat et des villages, non seulement en France mais plus largement en Europe. C'est durant cette période que se multiplient, à partir de sites fortifiés (réaménagement des oppida protohistoriques), les châteaux à motte, fortifications de terre et de bois qui, avec les églises, seront les éléments constitutifs de l'organisation des villages, autour de places. Le XI^e siècle correspond à une forte croissance démographique appuyée par un gros effort de construction rurale. On passe ainsi de la construction semi permanente du Haut Moyen Age, utilisant des matériaux précaires, à la maison faite pour durer. Cette évolution est portée par l'apparition d'un corps d'artisans spécialisés, formés sur les chantiers de construction religieuse (abbayes, cathédrales, églises) ou militaire (châteaux forts), qui mettent aussi leur savoir-faire au service de la population rurale et urbaine. On peut alors observer une renaissance de techniques de construction qui avaient été utilisées à l'apogée de l'empire romain : maçonnerie de blocage et de pierre, briques cuites, briques crues et pisé, charpente assemblée par tenons et mortaises, chevilles, clavettes et cloutage. Les régions septentrionales adoptent et diffusent largement le mur de type *stabbau* (planches verticales bouvetées), d'origine germanique. Les régions orientales, plus enclavées ou montagneuses, développent le colombage à bois long (structure à trame orthogonale large et d'allure carrée) dressé sur des soles en bois posées à même le sol ou sur des soubassements en pierres bâties au mortier de terre et de chaux. Dans les régions méridionales, le colombage et le torchis semblent précéder la réapparition des lointaines traditions de la brique crue et du pisé puis de l'architecture en pierres. Les traits caractéristiques actuels de l'architecture de colombages à bois courts (trame orthogonale étroite, d'allure rectangulaire, et pièces inclinées) semblent s'être généralisés plus tardivement, au-delà de la Renaissance. Pour la période du Bas Moyen Age, la documentation est en grande partie d'origine archéologique et il ne reste que peu de témoignages des structures d'habitat si ce ne sont quelques trous de poteaux ou traces de soles en bois posées sur des soubassements maçonnés. Ce sont surtout des travaux menés dans le Nord-Est de la France et dans les pays voisins (Angleterre, Allemagne), qui permettent de se faire une idée des habitats ruraux du Bas Moyen Age sans doute encore très caractérisés par les apports anciens des cultures constructives germaniques. Néanmoins, les travaux de l'archéologie médiévale menés sur les territoires européens, permettent de répertorier un ensemble de trois principaux types d'habitats¹⁵ que les territoires français ont sans doute également adopté :

- *la ferme-cour* : elle a semble-t-il remplacé la maison longue à partir du XIII^e siècle et commence à distinguer la partie résidentielle de la partie étable et grange. Ce modèle d'origine anglaise a été répertorié en Normandie mais aussi jusqu'en Allemagne (Höhenrode et Königshagen) où des trous de poteaux régulièrement espacés traduisent le principe d'une structure en bois vraisemblablement terminée par un clayonnage de branches revêtues de torchis.

- *la maison-longue* : de grande tradition depuis les époques protohistoriques, qui regroupe sous un même toit l'habitation et l'étable.

- *la petite maison rectangulaire* : généralement d'une pièce unique.

On observe également trois grands principes de construction :

- *la maison à une seule nef* qui ne laisse en général que la trace de ses murs périphériques.

- *la maison à deux nefs*, avec un axe longitudinal et central de poteaux et des murs périphériques marqués par des trous de poteaux parfois reliés entre eux par la trace brunâtre de soles en bois posées à même le sol.

- *la maison à trois nefs*, plus grande, à plan rectangulaire et deux rangées de poteaux espacés de façon variable vis-à-vis des murs extérieurs. La nef centrale semble avoir été réservée à l'habitation alors que les deux nefs latérales devaient être réservées au bétail et au stockage.

Mais, pour l'essentiel, les matériaux de construction de l'habitat rural du Bas Moyen Age ont été le bois long et le clayonnage enduit de torchis (du type bressan et alsacien actuels), les galandages intérieurs (cloisonnements non porteurs) à treillage de bois vert et enduit de terre et une protection extérieure en essentes d'écorces ou de dosses de bois fendu. On a pu observer aussi, dans les territoires bordant la mer du Nord et sans doute jusqu'en bordure de la Manche, la tradition d'origine anglo-saxonne du mur en mottes de gazon ou "*sod*" et également celle de la bauge, ou "*cob*"¹⁶. Ces modes de construction sont toujours très présents, non seulement en Angleterre (dans le Devon, p.e.) mais aussi dans le Nord-ouest de la France, en Normandie et dans le Cotentin, et même jusqu'en Bretagne (Rennes et Ille-et-Vilaine, Côte d'Armor). Pour les régions plus méridionales (au Sud de la Loire), il semble que le principe des structures en ossature bois ait été associé à l'utilisation de matériaux de tradition méditerranéenne, la brique crue notamment. Ces pratiques sont observables sur les territoires des contreforts pyrénéens, tels qu'en Béarn et en Bigorre. Il semble

¹⁵ Cf. *Actes du Congrès de la Société des Historiens Médiévistes de l'Enseignement Supérieur Public*, rassemblés dans les *Annales Littéraires de l'Université de Besançon*, 1973 et également, différents ouvrages et articles de chercheurs médiévistes qui font autorité dans le domaine, tels que Jean CHAPELOT et Robert FOSSIER (Cf. Note 14).

¹⁶ Voir, CHAPELOT, J. et FOSSIER, R., op. cit. note 14, à propos des fouilles menées à Wallingford, dans l'Oxfordshire en Angleterre et également les fouilles de la fortification danoise de Solvig, qui attestent de ces techniques.

probable que les influences culturelles des califats de Cordoue, depuis la péninsule ibérique, à partir du VIII^e s., aient joué un rôle dans la réactivation de l'emploi de l'adobe et du pisé très utilisés dans la tradition constructive ibérique maure. Ces techniques, véhiculées par les mouvements de populations de fonds wisigothe repoussées au-delà de l'Aragon, atteignaient la Gaule du Sud-ouest et trouvaient une nouvelle nidification sur fond culturel antique gréco-romain redécouvert. Elles ont dû être aussi véhiculées par les nombreuses poussées d'invasions sarrasines, jusqu'au début du X^e s. (on situe leur avancée jusqu'en Haute Provence et en moyenne vallée du Rhône, en 972). Tel est le cas des régions du grand Sud-ouest de la France (Aquitaine) et jusqu'en Auvergne (Massif Central; des études toponymiques établissent des liens avec des origines ibériques maures: voir travaux de Hubert Rostaing, Dictionnaire des toponymes). Mais, ce n'est véritablement qu'à partir de la fin du XV^e siècle que l'on peut situer un renouveau et un développement significatif des architectures de terre en maçonnerie (adobe) ou monolithiques (pisé) qui s'affirmeront dans les régions méridionales aux XVIII^e puis au XIX^e siècle. Le fameux livre intitulé "La maison rustique", de Charles Estienne, plusieurs fois réédité depuis son édition originale publiée en latin, sous l'intitulé de *Praedium rusticum*, en 1564, mentionne ces techniques¹⁷. Cette évolution vers la maçonnerie de blocs de terre et vers le pisé sera significative après les époques de la Révolution française et portée par une large diffusion européenne des idées du Siècle des Lumières traduisant un réel souci d'amélioration des conditions de vie et d'habitat de la population rurale (pensée des physiocrates et des premiers *agrariens*). Ces époques de grande mutation correspondent à une consolidation de la paysannerie, à une restructuration du paysage rural et définissent les grands traits de l'habitat régional et des formes d'aménagement des terroirs actuels (pays de bocage /vs/ pays d'openfield ou pays d'embouche et de cultures intensives /vs/ pays de grandes cultures extensives), non seulement liés au cadre naturel et physique transformé sur fond historique mais aussi aux types de l'économie agricole, soit consolidés, soit en transformation. Ainsi, la brique d'adobe et le pisé, participaient directement à cette consolidation de la situation de la population rurale et de son habitat, dans une première phase historique moderne qui précède une plus large utilisation de la pierre et de la brique cuite. Mais, dans beaucoup de cas, celles-ci étaient employées en solutions constructives mixtes avec la terre crue. Nous allons préciser l'impact de cette période des Lumières sur la revalorisation et la diffusion de "l'architecture" de terre (reconnaissance acquise avec les écrits de Laugier), et notamment du pisé.

2 - A l'époque des Lumières : François Cointeraux (1740-1830), pionnier de la modernité des architectures de terre¹⁸.

Les bases d'un savoir de nature encyclopédique et universelle.

Les caractères actuels du patrimoine architectural en terre de France, mais plus largement européen, doivent beaucoup à la constitution puis à la large diffusion d'un savoir de nature encyclopédique, de portée universelle, élaboré à l'époque des Lumières. A cette époque, un architecte et entrepreneur d'origine lyonnaise, François Cointeraux, allait fournir un important travail de revalorisation et de promotion du pisé que l'on peut juger décisif pour les temps modernes. Il ne publia pas moins de 69 essais, pamphlets et fascicules¹⁹. Cet apport essentiel ne doit pas pour autant occulter celui de prédécesseurs qui ont fondé les bases de ce nouveau savoir. Par exemple, les *Dix Livres de l'Architecture*, de Vitruve, dont la traduction française du texte original en latin, par Claude Perrault, daté de 1673, mentionne la construction en briques crues comme un art de bâtir de première qualité²⁰. Cointeraux y fera référence car "le" Vitruve fut un grand classique de la formation académique des architectes qu'il cherchait à convaincre sur l'emploi de son "nouveau pisé". Antérieurement aux écrits de Cointeraux, on doit relever la publication du *Mémoire pour la construction des murs en terre*, de l'architecte G.M. Delorme (1700-1782)²¹. Près de trente années plus tard, *l'Art du Maçon Piseur*, de Georges-Claude Goiffon²², fournissait les références techniques qui seront reprises par Cointeraux mais également par l'Abbé Rozier, sous forme de mémoire, dans son Journal de Physique. Ce même Abbé Rozier qui publiait en 1786 son *Cours*

¹⁷ Nous faisons ici référence à une édition plus tardive, de 1763, en deux tomes ; tome 1, 664 p. et tome 2, 677 p. La maison rustique en terre est évoquée dans le tome 1 aux pages 36-38 et l'on y peut comprendre qu'il s'agit des techniques de la bauge et du pisé.

¹⁸ Nous nous référons ici à une recherche personnelle menée dans le cadre du programme scientifique du CRATerre-EAG : GUILLAUD, H., *Les grandes figures du patrimoine régional Rhône-Alpes, François Cointeraux (1740-1830), pionnier de la construction moderne en pisé*, Grenoble, mars 1994, 104 p., dont 48 p. de textes et illustrations.

¹⁹ L'ensemble du fonds original des écrits de Cointeraux est disponible à la Bibliothèque Nationale. Son activité de publication semble avoir été inaugurée en 1790 et s'achèvera en 1826, soit 36 années d'écriture féconde.

²⁰ Argument d'ailleurs repris par L.B. Alberti (1404-1472), dans son *De Re Aedificatoria*. Cf. traduction de J. Martin, Paris, 1553, pp. 48-49.

²¹ Ce mémoire de huit feuillets a été lu le 17 mars 1745 à l'Académie des Sciences Belles Lettres et Arts de Lyon. Son texte a été repris dans l'édition de 1786 du *Dictionnaire d'Agriculture* de l'Abbé Rozier qui est aussi un ouvrage de référence à cette époque de revalorisation du pisé pour l'amélioration de l'habitat rural.

²² Georges-Claude GOIFFON était membre de l'Académie des Belles Lettres et des Arts de Lyon et de Metz. Son *Art du Maçon Piseur* fut édité à Paris, par la Librairie Le Jai, Rue Saint Jacques, en 1772.

Complet d'Agriculture Théorique et Pratique, dont il confiait le tome VII, entièrement dévolu à la description des méthodes de construction en pisé, à un autre architecte lyonnais, F.C. Boulard. On n'omettra pas non plus de citer un article de Diderot, intitulé *Pisay, pisey, pisé*, publié en 1771, dans l'Encyclopédie²³. C'est donc sur ces bases de savoir de nature encyclopédique, formulées par quelques prédécesseurs et contemporains, que Cointeraux commence son travail d'écriture et de constitution d'un savoir raisonné, théorique, alors qu'il a déjà 50 ans et une expérience concrète d'architecte-constructeur en pisé²⁴. Cette activité l'occupera jusqu'à sa mort, en 1830. Cointeraux verra ses services et son activité militante en faveur du pisé reconnus de son vivant par ses pairs. En effet, l'architecte Jean-Baptiste Rondelet²⁵ consacra un chapitre entier de son fameux *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (élaboré entre 1802 et 1817), à la construction en briques crues et en pisé, sous l'intitulé "des pierres artificielles". Les gravures s'inspirent directement de la technique de construction lyonnaise (et plus largement dauphinoise) ainsi que le modèle de maison présenté qui n'est pas sans rappeler "la maison de l'ouvrier" de Cointeraux²⁶ (Cf. illustrations). L'oeuvre écrite de Cointeraux va essentiellement valoriser les vertus techniques et économiques autant que hygiéniques et sociales, sécuritaires (incombustibilité) d'un "nouveau pisé"²⁷, propre à améliorer l'habitat rural encore majoritairement construit à cette époque de la fin du XVIII^e siècle en colombages et torchis ou même en bauge. L'apport de Cointeraux n'est pas tant à rechercher dans la nature innovante du propos qu'il développe mais davantage dans sa volonté de théorisation assortie d'une attitude militante en faveur du monde paysan et dans son prosélytisme à vouloir convertir son époque au bienfait de son "nouveau pisé". Il assure lui-même la diffusion de ses écrits, en donnant beaucoup de temps à une activité de conférences, en tentant plusieurs fois de monter, en province et à Paris, son projet d'Ecole d'Architecture Rurale²⁸. Il imagine tout un ensemble de modèles d'habitats économiques et incombustibles pour les classes défavorisées. Il propose aux propriétaires terriens différents modèles de séchoirs, de bergeries, de faisanderies et autres ruchers, de vendangeoirs mais aussi de pavillons de campagne, dépendances et manoirs, de maisons rurales de type "bioclimatique" (en application de son système de "l'orienteur" éolien et solaire). Il valorise le "pisé décoré" qui reprend les éléments de modénature de l'ordre toscan et les enduits à fresque et propose également aux industriels des modèles de manufactures de tissage (Cf. illustrations). Cointeraux allait ainsi jouer un rôle sur l'évolution qualitative des typologies et de l'esthétique architecturale du pisé traditionnel mis au service de la construction rurale et bourgeoise²⁹ mais aussi sur une plus large revalorisation des matériaux traditionnels et des cultures constructives régionales où la terre tient une bonne place.

L'impact international des idées et théories de François Cointeraux.

De l'Angleterre, vers les Etats-Unis d'Amérique et vers l'Australie.

La traduction du *Troisième Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale* de Cointeraux par l'architecte anglais néo-classique Henry Holland³⁰, et sa présentation officielle lors d'une communication présentée au *Board of Agriculture* de Londres,

²³ *L'Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert, supplément au volume 4, pp. 384-385, Paris, 1771.

²⁴ Il s'attribue la construction de plusieurs immeubles d'habitation dans les faubourgs de la ville de Lyon et même dans le quartier central de Saint Just. Cf. COINTERAUX, F., *Instruction sur l'art de bâtir dans toutes les campagnes et sur les embellissements et améliorations que chacun peut faire dans sa propriété*, 10 octobre 1814, 20 p. On lui reconnaît aussi la construction d'un ensemble de 24 boutiques-logements le long de la Grande Rue de Vaise, maisons qui portent toujours le nom de "maisons Cointeraux", aux alentours de 1785-1786. Cette réalisation répond à une commande de l'intendant de Lyon et lui assure une reconnaissance en qualité "d'architecte de Lyon".

²⁵ Jean-Baptiste RONDELET (1743-1829), élève de Soufflot qui l'associa à la construction de l'église Sainte Geneviève (devenue le Panthéon à la Révolution). Rondelet connaissait François Cointeraux comme ancien compagnon d'étude au Collège de la Trinité de Lyon, chez les Jésuites. La famille de Cointeraux semble par ailleurs avoir été liée à celle de Rondelet et notamment son oncle, Nicolas Fauconnet, qui partageait la profession de maître-maçon entrepreneur avec le père de Rondelet l'ayant lui-même reçu dans la corporation.

²⁶ Par ailleurs, Georges TEYSSOT, dans un article publié dans la revue *Monuments Historiques*, N° 116, consacré à la région Rhône-Alpes, publié en 1981, évoque Cointeraux et précise qu'en 1794, une commission composée de Chalgrin, Norry, Raymond et Rondelet, avait conclu favorablement sur un rapport de Cointeraux présentant son projet d'Ecole d'Architecture Rurale (principalement destinée à enseigner la construction en pisé) au Ministre de l'Intérieur.

²⁷ Il s'agit en fait au-delà d'un pisé traditionnel dont le savoir est constitué, d'une nouvelle technique de "massivation" de la terre sous forme de blocs de terre comprimée produits à partir de simples moules puis d'une presse qu'il dénomma la "crécise".

²⁸ Titre également donné à ses plus fameux écrits, les *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale*, au nombre de quatre et dont les deux derniers sont les plus fameux ayant été traduits en plusieurs langues.

²⁹ Le XIX^e siècle correspond à une multiplication très notoire de la construction bourgeoise en milieu rural et dans beaucoup de régions, les avantages économiques de la terre, que ce soit l'adobe ou le pisé, sont mis à profit pour construire des manoirs, des petits châteaux mais encore des églises, des manufactures ouvrières et leurs lotissements d'habitations. Le patrimoine actuel regorge de tels exemples avec une qualité qui n'a rien à envier aux architectures similaires construites en briques cuites ou en pierres, selon les situations régionales. On peut aussi observer plus tardivement, que la politique de construction des mairies-écoles de l'Etat français (fin XIX^e, en application de la politique d'éducation publique nationale mise en place par le ministre Jules Ferry), s'est directement appuyée sur ces cultures régionales et notamment sur l'emploi de la brique crue et cuite dans le Sud-ouest mais aussi sur l'emploi du pisé dans les régions qui en étaient dotées par tradition (Auvergne, Val de Saône, Lyonnais, Dauphiné).

³⁰ Henry Holland (1746-1806) est très connu de son époque comme promoteur du "anglo-greco-roman style". Il s'est intéressé au pisé à partir d'expériences réalisées dans le Lancashire et en assure la promotion dès 1787-1788 quand, pour le compte du V^e Duc de Bedford, il assure la

en 1797, assorti d'une publication³¹ vont avoir un impact considérable sur le monde anglophone. Holland donne ses sources en se référant directement à Cointeraux. Cette traduction sera par la suite reprise par d'autres auteurs anglais qui en assureront une plus large diffusion³². Cette "tête de pont" de diffusion de la pensée théorique de Cointeraux, à partir de l'Angleterre, va servir de base à une exportation du pisé vers les Etats-Unis d'Amérique et vers l'Australie. Le XIX^e siècle correspond à une forte émigration vers les Etats-Unis et à l'installation de nombreux colons dans le *New South Wales* et le *New Jersey*. C'est dans ce contexte que le pisé, désormais associé à la possibilité de construire des maisons solides et durables, opère son entrée outre Atlantique, faisant également écho au rêve populaire du *cottage* dont les modèles ont été largement théorisés et diffusés depuis la fin du XVIII^e siècle. Plusieurs auteurs américains contribueront à un réel engouement pour ce matériau³³ ainsi qu'une activité régulière de publication journalistique³⁴ qui mentionnent les théoriciens français, Cointeraux mais aussi Goiffon, Boulard et l'Abbé Rozier. En Australie, la traduction de Cointeraux de Henry Holland est publiée en 1823 dans le *Sydney Gazette*, en deux parties, sous forme de feuilleton dominical. Cette publication correspond à la fondation d'un nouvel établissement, Bathurst, où les colons emploient le pisé. Cette même année 1823, le *Hobart Town Gazette* rapporte que le pisé a été introduit en Australie depuis l'Europe et qu'il a été utilisé pour la construction de fermes dans la région³⁵. L'intérêt pour le pisé a également touché la Nouvelle Zélande où une mission catholique romaine, aujourd'hui connue sous le nom de *Pompallier House*, fut construite, à Kororareka, en 1841-42. Le chantier fut supervisé par un architecte français, Louis Perret, originaire de Lyon³⁶. La deuxième moitié du XIX^e siècle semble avoir popularisé le pisé dans plusieurs régions d'Australie, en *Victoria*, *New South Wales* et *Adelaide* où il fut présenté comme une alternative technologique qualitativement supérieure au torchis, à la bauge ou même au "sod", (d'origine germanique, hollandaise et britannique et apportés par les émigrants), qui étaient principalement utilisés jusqu'alors.

Dans les pays d'Europe :

En Allemagne, l'emploi de la terre en construction remonte à des temps très lointains. Néanmoins, les études des chercheurs allemands montrent que le pisé a surtout été employé à partir du XVIII^e siècle, notamment sur les territoires nord orientaux (Schleswig-Holstein mais aussi dans les régions de Basse Saxe, de Hambourg et Brême, ainsi qu'en

construction de logements en pisé pour les agriculteurs travaillant les terres de l'abbaye de Wolburn. Le chantier est réalisé sous la direction de l'intendant du Duc, Robert Salmon, avec l'aide d'un ouvrier français (Cf. SALMON, R., *Method of constructing commodious houses with earthen walls*. Transactions of the Society for the encouragement of Arts, Manufactures and Commerces, 1809, pp. 185-197) et utilise comme finition l'enduit à fresque à la chaux, peint, typiquement employé en France comme le mentionnait F.C. Boulard dans son article publié dans le *Cours Complet d'Agriculture*, Tome VII, op. cit., de l'Abbé ROZIER (1786).

³¹ *Communications to the Board of Agriculture; on subjects relative to the Husbandry and Internal Improvement of the Country*, Vol. 1, parts III et IV, Londres, Bulmer and Co., 1897, pp. 373-404.

³² On doit notamment relever ici : le *Farm Buildings*, de William Barber, publié en 1805, puis le *Farmer's Dictionary* de Abraham Rees, le *Agricultural Dictionary* de Nicholson, en 1807, *Rural Residences* de J.B. Papworth, en 1818, *Cyclopaedia or Universal Dictionary for Science and Literature* qui donnera une description très détaillée du pisé et des illustrations reprises de Holland et déjà dérivées de Cointeraux.

³³ Notons ici, la publication, en 1806, à New York, de *Rural Economy*, de Stephen W. Johnson qui contient un traité de construction en pisé, puis, un peu plus tard, *The Economical Builder : a Treatise on Tapia and Pisé Walls*, de E. Gilman, édité à Washington, en 1839 qui se réfère très directement aux théoriciens de la question, d'origine anglaise et française. Par ailleurs, l'ouvrage de Abraham Rees, *Cyclopaedia*, est diffusé aux Etats-Unis avec une édition produite à Philadelphie entre 1810-1817. Il semblerait, d'après des recherches menées par le Dr. Jeffrey William Cody, de l'Université Cornwell, que cette édition ait connu une très large diffusion par le réseau des librairies installées à New York, Boston, Salem, Portsmouth, Portland, Baltimore, Washington D.C., Georgetown, Pittsburgh et bien d'autres villes.

³⁴ Par exemple *The true American* où Stephen W. Johnson, auteur de *Rural Economy* (New York, 1806), publiait plusieurs articles et reproduisait les illustrations inspirées de Cointeraux et de Goiffon. Johnson réalisa lui-même une petite maison directement inspirée du modèle de la maison de l'ouvrier de Cointeraux. Le magazine *American Farmer* édité à Baltimore par John Stuart Skinner, de 1819 à 1830, édita le texte de Henry Holland, en 1821, sous forme de feuilleton. D'autres périodiques spécialisés en agriculture, ont également valorisé le pisé dans les années 1830; par exemple, *The Southern Agriculturist* et *The Genesee Farmer* (Vol. IV, n° 39 du 27 sept. 1834, n° 44 du 1er nov. 1834, Vol. V, n° 5 du 31 janv. 1835, Vol. VII, n° 6 du 11 fév. 1837, Vol. VIII, n° 3 du 4 août 1838). Cette popularité du pisé et de la construction en terre a semble t-il connu son acmé vers les années 1850 en se propageant à partir du New Jersey, de la Caroline et de la Virginie, vers l'Indiana, grâce à un promoteur zélé du nom de Henri Leavitt Ellsworth, chargé par le Congrès de rédiger des rapports annuels sur le rôle crucial de l'agriculture dans la prospérité nationale. Ces rapports qui valorisent le pisé autant que la brique crue pour l'habitat rural ont été publiés dans plusieurs journaux comme le *Western Farmer and Gardens* d'Indianapolis, puis le *Prairie Farmer* de Chicago où d'autres articles signés d'un certain Stephen Whright, écrits entre 1843 et 1855 feront mention de la construction en terre près d'une quarantaine de fois. Cette audience allait gagner l'Etat de New York avec le support d'autres journaux comme *The Cultivator* et *The Country Gentleman*, basés à Albany, N.Y., et même en Illinois avec l'appui du *British American Cultivator* considéré à l'époque comme l'un des meilleurs périodiques d'Agriculture à très grand tirage. (Toutes ces sources sont extraites du travail remarquable de thèse du Dr. Jeffrey William Cody, *Earthen Wall Construction in the Eastern United State*, Cornwell University, juin 1985, 460 p.).

³⁵ Cf. LEWIS, M., *Victorian Primitive*, Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, Australie, 1977, 87 p., *Origins of Pisé de Terre*, pp. 43-50 et Pisé en Australie, pp. 51-58. D'autres journaux de l'époque mentionnent aussi le pisé : le *Sydney Herald*, le *South Australian Register*, le *Port Phillip Gazette*, le *Port Phillip Patriote*, le *Melbourne Advertiser* et le *Port Phillip Herald*.

³⁶ HOWARD, T., *Mud and Man, The History of Earth Buildings in Australia*, Earth Buildings Publications, 1993, Melbourne, 198 p.

Wesphalie et en Hesse³⁷). Cette activité s'est poursuivie aux XIX^e et XX^e siècle et l'on a repéré près de 40 000 réalisations pour ces époques³⁸. Beaucoup de bâtiments du XIX^e de la région du Schleswig-Holstein paraissent directement inspirés des modèles architecturaux de Cointeraux dont les théories étaient diffusées par la traduction des Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale par David Gilly, en 1793 et simultanément par une traduction d'origine danoise de K.H. Seidelin, de 1796³⁹. Beaucoup d'autres personnalités allemandes ont été acquises à la mouvance des idées illuministes et ont également milité en faveur de l'emploi du pisé. Parmi celles-ci, on peut citer le physicien Christophe Bernhart Faust (1755-1842)⁴⁰, connu pour ses idées hygiénistes, Ernst Conrad⁴¹ et un avocat propriétaire industriel du nom de Jacob Wimpf qui fut également un constructeur en pisé très entreprenant⁴². Ces disciples de Cointeraux allaient à leur tour inspirer d'autres auteurs qui vont se succéder jusqu'aux époques contemporaines dont, parmi les plus fameux, A. Engelhardt, R. Jobst, C. Kuntzel, et O. Ritgen⁴³. L'édition danoise de Cointeraux, de K.H. Seidelin a également connu une adaptation finnoise, intitulée *Stamphus*, publiée en 1798 qui influença un architecte du nom de Gustaf Af Sillen, à l'origine de plusieurs réalisations, dans la localité de Uppsala, entre 1803 et 1812⁴⁴. La Suisse a également accueilli les idées et théories de Cointeraux et les a mises en oeuvre. D'une part grâce à un architecte du nom de Alfred Zschokke (1825-1879) qui, à l'âge de 23 ans, se mettait au service de la population de Fislisbach et à qui la Commission de reconstruction du canton d'Argovie confiait le réaménagement de cette localité sinistrée par des incendies. Le pisé est alors valorisé comme un mode construction économique et incombustible, hygiénique, à l'instar de François Cointeraux⁴⁵. Alfred Zschokke a construit sept fermes en pisé à Fislisbach qui ont été répertoriées sur un plan établi en 1850. D'autre part, avec une communication de Louis Raymond, accompagnée d'un mémoire, présentée à l'Institut national genevois, en 1857. Raymond fait clairement référence à la tradition constructive en pisé des régions françaises du Bugey et du Dauphiné mais aussi à Cointeraux et à l'un de ses illustres successeurs, Jean-Baptiste Rondelet, dont il publie copie des gravures du *Traité de l'Art de Bâtir*⁴⁶. En Italie, les Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale de Cointeraux, sont traduits, avec une adaptation critique, par Giuseppe Del Rosso, en 1793, soit à la même époque que Holland, en Angleterre et que Gilly, en Allemagne. On peut ainsi mieux cerner par là toute l'influence du réseau des sociétés savantes illuministes et des académies européennes dans cette large diffusion des théories de l'architecte-constructeur lyonnais⁴⁷. On ne relève pas, en Espagne, de traduction de Cointeraux mais l'existence d'un traité de maçonnerie, de Juan De Villanueva, édité en 1827, dont une partie est consacrée à la construction en terre et à la description de la technique du pisé dans ses formes ibériques traditionnelles très inspirées des apports antiques d'origine carthaginoise (*opus africanum*)⁴⁸. Ce bref aperçu de l'impact international des idées et théories de Cointeraux, montre que l'architecte lyonnais, héritier de Goiffon et de Boulard, établissait les bases d'un savoir théorique de portée universelle et qu'il fondait la modernité de l'architecture en pisé. L'époque y fut favorable. D'une part avec l'amplification de la diffusion des idées illuministes qui s'appuyait sur des réseaux efficaces de pensée autant que de pouvoir et d'autre part avec la constitution d'une science moderne de la construction à une époque où la théorisation de

³⁷ Cf. Revue *Bauen Mir Lehm*, (éditée sous la direction du Professeur Gernot Minke, du GHK de Kassel, n° 1 à 6, ökobuch Verlag, Grebenstein, 1984 à 1987, différents articles du Professeur Jochen Georg Güntzel, spécialiste de la question de l'histoire et du patrimoine des architectures de terre en Allemagne.

³⁸ Prof. GUNTZEL, G., *On the History of Clay Buildings In Germany*, in Adobe 90 Preprints, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 57-65.

³⁹ La traduction de David Gilly (également connu comme fondateur de la Bauakademie de Berlin) a été éditée sous deux formes différentes par deux éditeurs régionaux distincts; d'une part *Schule der ländlichen Baukunst* (...), 1793, Nürnberg und Altdorf et d'autre part, *Schule der Lanbaukunst* (...), 1793, Hildburghausen. Ces traductions de David Gilly, ont été rééditées plusieurs fois entre 1797 et 1836, confirmant le succès public de Cointeraux en Allemagne. Pour l'édition danoise, Cf. SEIDELIN, K.H., *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget af Cointeraux Beskrivelse og i afskilligt forandret*, 1796, Kopenhagen.

⁴⁰ FAUST, B.C., *Der Lehmsteinbau*, Buckeburg, 1839.

⁴¹ CONRAD, E., *Veder den Pisé-Bau*, Kretschmar, Chemnitz, 1840.

⁴² WIMPF, J., *Der Pisé-Bau*, Heilbrann, 1841, 60 p. Jacob Wimpf a notamment construit, à Weilburg, l'immeuble d'habitation en pisé le plus haut d'Allemagne, classé au patrimoine, qui demeure en parfait état.

⁴³ ENGELHARDT, A., *Der Lehm Bau*, Aechitekten-Verlag, Hannover, 1919, 17 p.; JOBST, R., *Lehmbauwissen*, Berlin, 1919, KUNTZEL, C., *Lehmbauten*, Berlin, 1919; RITGEN, O., *Volkswohnungen ind Lehm Bau*, Wilhelm Ernst ind Sohn, Berlin, 1920.

⁴⁴ D'après des informations fournies par M. Mikael Westermarck, architecte installé à Helsinki qui a développé quelques recherches historiques sur l'emploi du pisé en Finlande.

⁴⁵ ZSCHOKKE, A., *Anleitung zum Pisé-Bau, Mit Spezieller Rüdicht auf bas Berfahren bei den Bauten im Kanton Aargau*, Gauerländer, Verlags, Haran, 1849. Cf aussi, traduction française réalisée par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, par Werner Heerde, sous l'intitulé *Bâtir en pisé*, 1983.

⁴⁶ RAYMOND, L., *Mémoire Sur La Bâtisse en Terre*, Imprimerie d'Elie Carey, Genève, 1857, 44 p. et 2 planches dessinées.

⁴⁷ DEL ROSSO, G., *Dell'economica costruzione delle case di terra*, Presso J.A. Bouchard, Florence, 1793, 75 p. et 4 planches tirées de Cointeraux. Cet opuscule vient d'être récemment réédité avec une introduction critique du Professeur Mauro Bertagnin (Université de Udine), sous l'intitulé *Il Pisé e la Regola Manualistica Settecentesca per l'Architettura in Terra*, EdilStampa, Roma, 1993, 107 p.

⁴⁸ DE VILLANUEVA, J., *El Arte de la Albanileria*, Madrid, 1827.

l'ensemble de l'art de bâtir génère une chaîne quasiment ininterrompue d'opuscules et de traités à l'usage des architectes, ingénieurs et entrepreneurs. Le travail de Cointeraux, déjà "ennobli" de son vivant par des publications académiques, tel le *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* de Rondelet, participent de l'esprit de cette époque. Il convient aussi de relever que cette constitution d'un savoir théorique et raisonné sur le pisé ainsi que l'apogée de sa mise en pratique entre la fin du XVIII^e et au cours du XIX^e siècles, correspondent à la naissance des matériaux modernes et notamment du béton dont les premières formes d'utilisation, tels les "bétons agglomérés", les "bétons économiques" ou les "pierres factices" (travaux des frères Coignet, 1814-1888, p.e.), sont directement dérivés du pisé réactualisé par Cointeraux et même de son "nouveau pisé" qui préparent les développements de la technologie contemporaine de construction en terre (béton de terre et blocs de terre comprimée stabilisés).

3 - Le patrimoine architectural en terre de France : techniques, situation et exemples représentatifs⁴⁹.

Situation et caractères généraux des architectures de terre en France

L'architecture de terre est une marque très typique du paysage bâti de France. Il n'est pas de régions, à l'exception des territoires de montagne (Alpes et Pyrénées, zones de montagne du Massif Central), qui en soit démunie. Au début des années 80, l'Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, (A.N.A.H.), estimait l'importance quantitative de ce patrimoine bâti en terre à environ 15% de l'ensemble du patrimoine architectural national⁵⁰. Ce chiffre global ne reflète pas la réalité de la répartition régionale ni la spécificité des techniques de construction. On peut en effet observer que la région Rhône-Alpes (Est / Sud-Est), comprenant le Dauphiné, le Lyonnais et le Val de Saône, la Bresse, la Loire, l'Ardèche et la Drôme rhodaniennes, approchent les 40%, en moyenne, avec une dominante de pisé⁵¹ alors que les territoires septentrionaux, de la Normandie à l'Alsace, en passant par la Picardie et la Champagne, approchent les 60% avec, très typiquement, la tradition du colombage et du torchis.

Mémoire de l'histoire, L'architecture de terre française, particulièrement en milieu rural, a établi en grande partie ses caractères dans le lien étroit qu'elle a entretenu et continu d'entretenir avec l'héritage des cultures constructives historiques, les paysages ruraux, les conditions physiques (types de sols et de climat), et les morphologies agraires (économie et type de finage, types de cultures). Les évolutions modernes puis contemporaines, rapides et bouleversantes, sous bien des aspects socio-économiques et culturels, traduisent, malgré tout, une adaptation générale aux caractères morphologiques et typologiques antérieurement établis, notamment depuis le XVIII^e siècle et consolidés au XIX^e siècle. Les affectations fonctionnelles de certains bâtiments ont pu évoluer, d'autres constructions ont pu être ajoutées (bâtiments annexes de hangars, extensions de granges, nouveaux bâtiments d'élevage tels que volailleries ou porcheries), des modifications esthétiques ont pu résulter de pratiques d'entretien, de restauration ou de réhabilitation plus ou moins "heureuses" mais, dans l'ensemble, les caractères originaux de l'héritage architectural du milieu rural demeurent ou, pour le moins, peuvent être identifiés et analysés.

Il existe donc, en premier lieu, deux visages de l'architecture de terre française qui peuvent être rapportés à deux grandes familles de cultures constructives profondément ancrées dans l'histoire. Cette filiation remonte bien en deçà du XVIII^e siècle - même si les témoignages de cette époque dominent - c'est à dire depuis l'antiquité. Ce double visage s'établit, comme l'ont relevé les études des grands géographes⁵² dès la fin du XIX^e siècle, de part et d'autre d'une ligne de démarcation définie par la basse et moyenne vallée de la Loire prolongée par une ligne virtuelle qui passe entre la

⁴⁹ On se réfère ici, principalement, à un travail de recherche personnel mené dans le cadre de la préparation du diplôme d'architecture qui posait les bases d'un inventaire général du patrimoine architectural en terre de France, en étudiait les typologies architecturales et constructives : GUILLAUD, H., *"Histoire et Actualité de la construction en terre"*, mémoire de diplôme d'architecte d.p.l.g., Vol. 1, *"Histoire générale des techniques"*, 102 p., Vol. 2, *"Géographie de l'habitat en terre en France et anthropologie de l'habitat rural"*, 200 p., Vol. 3, *"Connaissance du matériau, étude des sols, réactualisation es techniques"*, 185 p., Ecole d'Architecture de Marseille, janvier 1981.

⁵⁰ Le patrimoine bâti en terre de France date pour l'essentiel d'avant 1915 - même si l'on construisait encore en terre jusque vers la fin des années 50 - et remonte en grande majorité au XVIII^e siècle pour les édifices les plus anciens en bon état de conservation, bien que l'on ait identifié un patrimoine plus ancien (fin du XVI^e à Lyon, p.e.) et exception faite ici du patrimoine de valeur archéologique. En terme d'habitat, ces enquêtes menées par l'A.N.A.H., montrent qu'il s'agit de plus de 2 millions d'immeubles qui représentent environ 2 400 000 logements, soit ces 15 % et 10 % du patrimoine national en immeubles et logements. Dans 9 cas sur 10, il s'agit de maisons individuelles et de bâtiments ruraux.

⁵¹ En Dauphiné, dans le département de l'Isère, des villages du Nord-Isère comptent jusqu'à 90 % de leur patrimoine architectural bâti en pisé, avec une typologie très large d'édifices (habitat villageois, habitat rural, quartiers d'habitat urbain, églises et chapelles, usines et manufactures de tissage, châteaux) dont les plus anciens remontent au XVI^e siècle. C'est néanmoins le patrimoine daté de la fin du XVIII^e, du XIX^e et du début du XX^e siècles, qui domine. Voir aussi, CAUE de l'Ain, CRA Terre, Groupe Pisé, *"L'Architecture de Terre, bâtiments caractéristiques de la Région Rhône-Alpes"*, éditions SME Résonances, Lyon, 1983, 159 p.

⁵² Cf. *"Annales de Géographie Armand Colin"*, 1943, divers articles sur l'habitation rurale en France de Max Sorre, Pierre Vidal de la Blache, Marc Bloch. et *"Histoire de la France Rurale"*, Tome 1, 2 et 3, éditions du Seuil, Paris, 1979-80.

Bresse méridionale et la Bresse septentrionale et qui bute sur les massifs jurassiens. Cette démarcation géographique permet de distinguer les architectures de terre du Nord de la France des architectures de terre du Sud de la France. D'une part, une culture constructive dominante de l'architecture de bauge ou de bois et de terre, avec les traditions bretonnes, vendéennes et du Cotentin pour la bauge, puis les traditions normandes (Basse et Haute Normandie), picardes, champenoises, vosgiennes et alsaciennes pour le colombage et le torchis. D'autre part une culture constructive dominante de l'architecture en adobe et en pisé, avec les traditions des territoires d'Aquitaine (du Lannemezan à la Garonne), étendues au Tarn et Garonne à l'Est - Albigeois - jusqu'en Béarn et Bigorre, au Sud, aux pieds des contreforts pyrénéens. On observe quelques témoignages d'adobe en Languedoc-Roussillon puis le pisé dans la basse vallée de la Durance (site de Charleval⁵³) jusqu'au début de la Camargue et dans le Comtat Venaissain, la moyenne vallée du Rhône bordée par le Dauphiné à l'Est et les départements de Loire et Haute Loire à l'Ouest, le Lyonnais et la Dombes, la Basse Vallée de la Saône, et la Bresse méridionale, au Nord. Cette distinction en deux grandes familles (les constructions à ossature remplissage et monolithiques façonnées, d'une part, les constructions en petits éléments et monolithiques coffrées, d'autre part) n'exclue pas pour autant les variantes et les particularismes régionaux. Ainsi, on observe une tradition du colombage et du torchis en région sud avec l'architecture landaise dont les caractères sont autant expliqués par des raisons physiques (présence de forêts et d'un sol pauvre de type podzolique amendé par des apports argileux des nombreux petits cours d'eau se dirigeant vers l'Atlantique, dont la Leyre et la Grande Leyre, pour les plus importants), que par des raisons historiques et culturelles (territoires sous influence politique et culturelle anglaise pendant de nombreuses années) et même économique (culture des céréales fournissant la paille du torchis). Cette tradition du colombage et du torchis existe aussi dans le Tarn et Garonne, au Nord de Albi. La tradition de la brique de terre crue est visible en Champagne (vallée de la Marne et département de l'Aube), connue sous le nom de "carreau de terre", dont les origines sont moins cernées. Cette pénétration des deux genres techniques distincts peut être rapportée à un enclavement économique et culturel⁵⁴ durable expliquant la perdurance du torchis dans le Sud et *vice versa* au désenclavement historique plus récent pour ce qui concerne la présence de briques de terre ou de pisé dans les territoires plus au Nord ayant accueilli une culture méditerranéenne (se reporter à la cartographie générale que nous fournissons).

En deuxième lieu, la relation qui s'établit entre les grands types de paysages ruraux et les grandes familles de cultures constructives. Nous distinguerons ici, *grosso modo*, la relation entre les "pays" de bocage ou d'enclos (embouche du bétail et polycultures intensives), de forêts, et les architectures de bois et de torchis, de la relation entre les "pays" d'openfield (grandes, voire monocultures céréalières ou viticoles et élevage extensifs) et l'architecture d'adobe et de pisé. Ainsi, le colombage et le torchis avec le bocage traditionnel ou le semi bocage normands. La bauge vendéenne, bretonne, du Cotentin et d'Ille-et-Vilaine avec le bocage traditionnel. Le colombage et le torchis des Landes avec la forêt landaise et les territoires boisés vosgiens et champenois (Champagne dite humide et anciennement "pouilleuse" ou pauvre). Le colombage et le torchis avec le semi bocage de l'Albigeois, du Pays Basque, du Gers et de la Bresse septentrionale. Ainsi, l'adobe dans les pays d'openfield aquitain et jusqu'en limite du Roussillon. Le pisé dans les pays d'openfield irrégulier du midi, dans la vallée du Rhône et les pays de Haute Loire. Le carreau de terre dans l'openfield traditionnel de la Marne et de l'Aube. Bien sûr, on peut encore relever des particularismes dans cette relation au paysage rural. Tel est le cas du colombage et du torchis alsacien en pays d'openfield traditionnel que l'on explique clairement par la filiation aux cultures constructives germaniques. Tel est encore le cas du colombage de Touraine dans les pays d'openfield traditionnel du Val de Loire ou même de Picardie que l'on explique ici par les influences des cultures constructives anglo-normandes (se reporter à la cartographie générale que nous fournissons).

Enfin, en troisième lieu, la relation qui s'établit entre la pédologie (nature des sols de surface évolués et transformés) du territoire national et la typologie constructive. On doit constater que l'architecture de bois et de torchis correspond davantage aux sols riches en argiles sédimentaires ou d'altération, aux sols limoneux ou sur limons, aux sols de sables argileux, tous de type très plastiques et qui exigeaient l'ajout de fibres végétales pour être stabilisés. A l'opposé, l'architecture d'adobe correspond aux sols alluvionnaires, de terreforts ou de boubènes à fraction sableuse dominante tout en ayant une granularité correctement étalée et l'architecture de pisé à des sols alluvionnaires et des sols glaciaires ou de dépôts fluvio-glaciaires (autrement dénommés sols de moraines). La cartographie que nous fournissons est assez éloquente à cet égard.

⁵³ Theus, P., "La fondation d'un village de Provence au XVIII^e siècle: Charleval, 1741", 280 p., La pensée Universitaire, Aix-en-Provence, 1956.

⁵⁴ Nous voulons ici insister sur le rôle de la situation enclavée ou désenclavée des diverses régions du territoire national, durant l'histoire liée à la définition politique et administrative du pays, à l'installation des réseaux de circulation, de transport et des échanges sociaux, économiques et culturels en chantier jusqu'à l'empire napoléonien). Une telle analyse a été notamment faite pour expliquer la distinction frappante entre l'architecture de colombage et de torchis de la Bresse septentrionale et l'architecture de pisé de la Bresse méridionale appuyée par l'identification de la nature des sols et des activités économiques (régions de marécages et lacs sur sols de nature morainique, pisciculture extensive, dans le Sud et région de bocage, d'élevage de volailles et d'embouche des bovins, de céréales intensives, dans le Nord). Cette analyse est par ailleurs consolidée par la relation qui s'établit entre les caractères de l'architecture de terre et les paysages ruraux que l'on décrit par après.

Les grands traits de la typologie architecturale

Le patrimoine des architectures d'habitat en terre crue de France n'échappe pas à la typologie qui a été définie par les géographes et notamment par Albert Demangeon⁵⁵. Ancrée dans l'histoire, l'architecture de terre exprime les formes les plus typées de cette typologie et les matériaux employés autant que les systèmes constructifs ne réduisent ni n'altèrent ces formes. Il est donc important de rappeler ici, brièvement, les grandes classifications posées par Demangeon en remarquant toutefois que la typologie des architectures de terre s'étend bien au-delà de l'habitat rural et que toutes les techniques de construction en terre ont été également associées à la réalisation d'édifices superbes et de grande taille (châteaux, manoirs et églises en colombages et torchis, en pisé et en adobe).

Les maisons bloc : elles correspondent au plan le plus simple et le plus économique et réunissent sous le même toit les espaces d'habitation et ceux d'exploitation. Demangeon a distingué d'une part les *maisons bloc à terre* des *maisons bloc en hauteur*. Dans la première catégorie, qui est la forme la plus élémentaire du type maison bloc, on peut situer par exemple la petite *bourrine* vendéenne, construite en bauge, qui correspond à deux, voire trois pièces juxtaposées en longueur. Ces maisons bloc en longueur sont établies dans les pays de bocage et de semi bocage. On peut les observer dans les régions de l'Ouest, du Sud-ouest et du centre de la France. Les maisons en torchis de Normandie et en adobe de moyenne Garonne en sont de bons exemples. La deuxième catégorie, bloc en hauteur, correspond à des maisons qui abritent sous un même toit un ou deux étages, souvent très spécialisés. La grange et l'étable y sont généralement dominantes. On peut les observer dans les régions au Sud de la vallée du Rhône. Les habitats en pisé de la Drôme (Valentinois), de l'Isère et du Rhône en sont de beaux exemples, soit en implantation isolée soit regroupée en villages.

Les maisons cour : elles sont liées historiquement aux influences culturelles d'origine anglaise. Dans les régions où les exploitations sont plus vastes et les cultures plus nombreuses et spécialisées (l'élevage associé aux grandes cultures céréalières), l'habitat s'organisait en regroupement de bâtiments avec une relative autonomie fonctionnelle de l'habitation et des annexes d'exploitation. Le regroupement en cour correspondait à des impératifs de sécurité autant que de bonne organisation des tâches. Cette typologie distingue les *maisons à cour fermée* des *maisons à cour ouverte*. La première est associée aux paysages d'openfield à parcelles massives qui se développaient dans les pays au Nord de la Loire et du Bassin Parisien. La grange y est très importante et ferme le plan général quadrangulaire du côté de l'accès. L'habitation se trouve en fond de cour alors que l'étable et les remises ferment les autres côtés. On peut observer ce type dans le patrimoine construit en bauge d'Ille-et-Vilaine et dans celui construit en torchis de Normandie (pays d'Auge p.e.) mais également dans la région lyonnaise et dans le val de Saône où elles sont bâties en pisé et en Bresse septentrionale pour le colombage et le torchis. La deuxième catégorie des maisons à cour ouverte correspond à la prépondérance d'une activité d'élevage intensif. Le bétail doit pouvoir circuler librement entre les bâtiments pour se rendre à la pâture attenante ou plus éloignée. Elles décrivent généralement trois corps de bâtiments avec l'habitation en fond, la grange et l'étable perpendiculairement et en vis-à-vis. La taille des annexes exprime la prospérité de l'exploitation. Dans les régions de bocage ou de semi bocage, ce type est observable en Normandie pour ce qui est du colombage et du torchis, mais également en Bresse où des parties construites en pisé se sont juxtaposées à des parties plus anciennes en colombage et torchis.

Les différentes techniques de construction en terre du patrimoine français

Les principales techniques de construction en terre sont représentées et nous les avons déjà évoquées : le colombage et le torchis, la bauge, l'adobe et le pisé. Nous précisons par la suite leur situation géographique et leur variantes.

Le colombage en bois et le torchis : cette technique de construction mixte en bois et terre (utilisée en remplissage d'une ossature porteuse), est établie dans les régions au Nord de la Loire, avec notamment, les patrimoines de Picardie, de Haute et Basse Normandie, de la couronne occidentale du Bassin Parisien (Pays de Bray), de Champagne, des Vosges et de l'Alsace. On peut également l'observer en Bresse septentrionale et jusqu'aux collines jurassiennes. Dans les régions sud du pays, ce sont les colombages des Landes et de l'Albigeois qui sont les plus représentatifs. On doit distinguer deux variantes typologiques du point de vue structural : le colombage à bois longs et le colombage à bois courts. Le premier type est le plus ancien, généralement antérieur au XVII^e siècle avec quelques exemples remontant encore au XVI^e siècle. Les plus beaux exemples se trouvent dans la Bresse septentrionale (villages de Courtes et de Romenay) et en Alsace (Colmar, Strasbourg). Dans les autres régions domine le colombage à bois court. Les autres variantes correspondent à la quantité de pièces de bois verticales composant l'ossature, avec un nombre plus important sur le colombage normand (les "colombes") que sur celui de Champagne (les "tourmisses") ou des Landes. De même les

⁵⁵ DEMANGEON, A., *Types de peuplement rural*, in Annales de Géographie Armand Colin, 1938. Voir aussi, du même auteur, *L'habitation rurale*, in Géographie universelle, éd. armand Colin, Tome VI, Paris.

techniques de support ou de réalisation du torchis différent. Soit avec le calage de petites pièces de bois rond ("éclisses" normandes) soit de pièces de bois ouvragées ("palsons" champenois), soit un tissage de baguettes de bois vert ("aulne" bressan). On observe aussi le principe du remplissage en "torches" enroulées sur des baguettes de bois, comme dans les Landes, ou en "fusées" (torchis enroulé sur une baguette de châtaigner), en Anjou.

La bauge : il s'agit d'un mode de construction par façonnage direct de couches (ou "levées") de terre (de nature argilo-limoneuse et sableuse), en grosse épaisseur, à l'état plastique. C'est sans doute l'une des techniques de construction la plus anciennement employée sur le territoire mais dont les exemples sont aujourd'hui très localisés et de moindre importance quantitative que les autres genres de techniques. L'architecture traditionnelle d'habitat rural en bauge reste néanmoins très identifiable et confère un caractère spécifique aux régions qui en sont dotées. Tel est le cas de la Vendée (marais de Monts) où l'on peut encore repérer quelques rares exemples des *bourrines* des maraîchins vendéens (éleveurs de canards), de la région de Rennes et plus largement de l'Ille-et-Vilaine (où la bauge est très présente), avec des prolongements en Bretagne (intérieur des Côtes d'Armor) ainsi que dans le Cotentin (région de Avranches, marais de Carentan et région de Saint Lô) où elle est dénommée "massé"⁵⁶. On peut en observer d'autres exemples dans les pays de la périphérie occidentale du Bassin Parisien, dans le Vexin et ses terres qui bordent le début de la basse vallée de la Seine. On peut distinguer deux formes de bauge. D'une part, une bauge abondamment mêlée de fibres végétales, voire de brindilles (la bruyère ou *flache* et la *janique* ou l'ajonc, dans la région de Rennes), préparée en paquets ou en "bigots" (Vendée) qui seront ensuite empilés à la fourche pour réaliser les couches de bauge. D'autre part, une bauge moins fibreuse mais plutôt amendée d'éclats de pierres ou de silex comme on peut le constater dans le Vexin et jusqu'en pays d'Ouche, également plus à l'Est, dans le département du Loiret (Courtenay, Montargis). Mais les plus beaux exemples de cette architecture de bauge sont sans aucun doute ceux d'Ille-et-Vilaine⁵⁷, où ce mode de construction était encore employé jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Autour de la ville de Rennes, le secteur occupé par cet habitat en bauge est délimité par les villes de Combourg (au Nord), de Liffré (à l'Est), de Bruz (au Sud) et de Saint-Méen-le-Grand (à l'Ouest). L'habitat est très représentatif des maisons bloc à terre en longueur et en tire d'ailleurs sa dénomination régionale : les *longères*. Un aspect très typique de cette construction "à la rennaise" est l'intégration des bâtis menuisés des ouvertures, ou *carrées*, dans toute l'épaisseur du mur.

Le pisé : cette technique de compactage de la terre (de nature sablo argileuse et graveleuse), à l'état humide presque sec, dans des coffrages en bois, à l'aide d'un pilon (ou *pison*, *pisou*, *pisoir*, *dame*) était introduite dès l'antiquité sous double influence méditerranéenne, carthaginoise puis romaine, et de nouveau sous influence maure (fin du Haut Moyen Age) pour être réactualisée au XVIII^e siècle (cf. François Cointeraux). Le pisé reste très localisé dans les régions de l'Est / Sud-Est de la France avec les traditions de la vallée du Rhône, du val de Saône, du Lyonnais et de la Dombes, du Dauphiné et de la Loire / Haute-Loire. Cette localisation confirme la tradition méditerranéenne de cette technique dont la pénétration plus au Nord (jusqu'en Val de Saône) était favorisée par le chenal naturel du Rhône. Les techniques les plus récentes de coffrage du pisé sont très élaborées avec un outillage spécifique qui rassemble les *banches* (panneaux de bois généralement longs d'environ 2 m., parfois jusqu'à 3 m. et hauts de 0,80 à 1,00 m.), les clés en bois sur lesquelles repose le coffrage, les potelets (ou montants, ou *larsonniers*), les *gros du mur* ou *badailleurs* (petit bois donnant la largeur du coffrage), les *jougs* (pièce de bois reliant les potelets en partie haute), les cordes et tendeurs, les *portes* (bout de coffrages). Plus récemment, les pièces de maintien en bois (potelets et clefs) étaient remplacées par des éléments métalliques de maintien ("aiguilles" dauphinoises et manivelles de serrage). On peut distinguer deux types de pisé régionaux selon le mode de liaison des banchées entre elles. D'une part une tradition de joints verticaux (Dauphiné, Lyonnais) et d'autre part des joints inclinés, encore dénommés "à l'équillade" (Auvergne, Loire et Haute-Loire⁵⁸). La tradition auvergnate décrit un décor par une mise en valeur des joints entre les banchées et dans les chaînes d'angles, au mortier de chaux, qui semble trouver ses origines dans la lointaine tradition sarrasine. Dans d'autres régions, ce décor s'appuie aussi sur le traitement des angles des bâtiments avec de très belles chaînes en briques cuites (Bresse et Dombes) ou plus récemment en mâchefer (moyenne vallée du Rhône) et même en béton de chaux ou de ciment, en forme d'épis ou de demi sapin (Lyonnais et Dauphiné). Ces traditions ont été parfois remplacées par des enduits peints

⁵⁶ DELABIE, Ch., "Maison en terre des marais du Cotentin", publication conjointe du Sivu du Pays des Marais, de l'A.N.A.H., de l'APCPNR des Mais du Cotentin, et de Biomasse Normandie, 47 p.

⁵⁷ PETITJEAN, M., "Les maisons de terre", in revue "Armen", n° 5, octobre 1986, p. 30-49. Voir aussi, GÔHEL, L.- M., *La Construction en Terre en Haute Bretagne*, in *Arts de l'Ouest*, 1976 et *Tiez Breiz*, maisons paysannes de Bretagne, n° 4, 1984, LE COUEDIC, D., TROCHER, J.R., *Une technique de construction du pisé par levée*, pp. 23-24.

⁵⁸ Cf. "Le pisé et l'Artisan", Capeb de l'Ain, Groupe Pisé, 21 p. Et JEANNET, J., POLLET, G., SCARATO, P., "Le pisé, Patrimoine, Restauration, Technique d'avenir, matériaux, techniques et tours de main", éditions Créer, Nonette, 1986, 107 p. Et, CAUE de l'Ain, CRATerre, Groupe Pisé, "L'Architecture de Terre, bâtiments caractéristiques de la Région Rhône-Alpes", éditions SME Résonances, Lyon, 1983, 159 p. Et, JAFFEUX, M., *Le pisé*, in *Revue Maisons Paysannes de France*, n° 3, 1977, pp. 12 à 16. Voir aussi : CRATerre-EAG, *Etude raisonnée des architectures en pisé*, 1984, 361 p.(rapport de recherche DAU/BRA) et CRATerre-EAG, *Architecture en pisé, état du savoir-faire français et étranger actuel*, 1985, 388 p.(rapport de recherche DAU/BRA).

mais la plupart des maisons en pisé ne sont généralement pas enduites. Le patrimoine des plus belles demeures en pisé de France (châteaux et manoirs), que l'on peut observer dans la basse vallée de la Saône et en Haute Loire (autour de Montbrison), décrit un riche décor d'enduits peints ou même de façades reprenant les ordres classiques comme l'Ordre Toscan (XVIII^e et XIX^e siècles).

L'adobe : également d'origine méditerranéenne, l'adobe fut autrefois dominante dans les régions bordant la Mer Méditerranée, du Languedoc à la Provence. Elle n'y est plus présente pour avoir été remplacée par une architecture de pierre. Le patrimoine architectural français en adobe occupe principalement aujourd'hui les territoires d'Aquitaine (les pays de Garonne, le Gers et jusque dans le Tarn), avec des extensions vers le Sud, jusqu'en Bigorre. On observe également une autre tradition régionale et au Nord de la Loire, celle du *carreau de terre*, en Champagne (Marne). Ces deux traditions sont distinctes quant aux types de matériaux et leurs modes de production. D'une part des adobes aux formes presque carrées et peu épaisses, formées à l'état plastique dans des moules en bois, à même le sol (en Aquitaine) et d'autre part, des blocs plus parallélépipédiques et plus épais, formés dans des moules métalliques et sur une table de moulage (en Champagne). En conséquence, les appareils régionaux sont très distincts avec une plus grande complexité pour l'appareil champenois qui dispose les carreaux en boutisse et en panneresse dans l'épaisseur du mur alors que l'appareil aquitain n'emploie quasi exclusivement que la pose en panneresse. Les deux traditions régionales associent l'emploi de la brique cuite, notamment pour la construction des tableaux des portes et fenêtres (ou du bois et de la brique) et pour le décor des façades (chaînes d'angles, modénature de bandeaux et corniches). On observe aussi une tradition de l'utilisation du galet de rivière pour la construction des soubassements et pour le décor des façades (alternance de rangs d'adobes et de galets), en Aquitaine (région de Muret, p.e., au Sud de Toulouse)⁵⁹.

4 - Modernité de la construction et des architectures de terre, en France

La mobilisation des chercheurs et des constructeurs dans les années 70-80.

A la fin des années 70, le Secrétariat des Missions de l'Urbanisme et de l'Habitat (SMUH) édite un numéro spécial sur la construction en terre de sa revue "Planification Habitat Information". Parallèlement, il traduit et diffuse largement un ouvrage des Nations Unies intitulé "Le béton de terre stabilisé, son emploi dans la construction". A la même époque, l'Institut de l'Environnement publie "Construction en Terre" d'une association grenobloise d'étudiants en architecture⁶⁰. En 1978, le Centre Technique des Tuiles et Briques, CTTB, engage des travaux sur l'argile stabilisée à froid et 1979 voit la publication de "Construire en Terre", du CRATerre, qui allait devenir un "best-seller" (trois rééditions et deux traductions en anglais et en espagnol) et contribuer à la renaissance d'un mouvement en faveur d'une actualisation de l'emploi du matériau terre. Cette même année Le Plan-Construction (programme ministériel de recherche-développement et expérimentation) lance un appel d'offre de recherche national sur les "Techniques exportables en bâtiment et v.r.d." où la réponse terre sur le volet bâtiment allait être significative d'un renouveau d'intérêt des chercheurs. En 1980, l'Institut National des Sciences Appliquées, INSA, de Rennes, lance ses recherches sur le Stargil qui donnent lieu à la mise au point de composants de construction en argile stabilisée extrudée. Ce début de la décennie 80 voit le renouveau des études sur les patrimoines régionaux bâtis en terre et la multiplication des associations régionales travaillant sur le matériau terre. Ce mouvement allait être considérablement dynamisé par un événement culturel de tout premier plan : l'exposition "Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire" présentée en 1981 au Centre Georges Pompidou à Paris puis dans les plus grandes capitales du monde. Elle allait dynamiser l'émergence d'un débat d'idées international en faveur du développement de la recherche et des opérations expérimentales. La revue "H", organe d'information de la société nationale des HLM (Habitations à Loyer Modéré), publie un numéro spécial intitulé "La terre, matériau d'avenir", en 1981. Cette même année est créé le programme interministériel REXCOOP qui va largement contribuer - avec le Plan-Construction, d'autres ministères (Recherche, Technologie, Industrie, Affaires Etrangères, Culture et Communication) et d'autres agences nationales de l'Etat français (ANVAR, AFME, ACTIM) - au développement de la recherche, à la multiplication des applications exemplaires menées en France et dans le cadre d'actions de coopération. Plusieurs de ces actions jalonnent de façon décisive les progrès de l'investissement français et confortent une avance technologique. Le lancement en 1981 d'un programme de recherche scientifique sur le matériau terre par le CSTB. Un appel d'offre conjoint Rexcoop, Plan Construction et Anvar, lancé en 1982 sur le thème "Matériels adaptés à la construction en terre" qui allait permettre la mise au point de nouveaux types de presses à blocs de terre, de malaxeurs à mortier et de banches pour le pisé. Le lancement, cette même année, du programme pilote du "Domaine de la Terre" de l'Isle d'Abeau (65 logements sociaux), concrétise la faisabilité

⁵⁹ CAYLA, A., (Dr.), "Architecture paysanne de Guyenne et Gascogne", éditions Serg, Paris, 1977, 121 p.

⁶⁰ Cette association regroupait le groupe "Auto construction" et le groupe "Palafitte" dont quelques uns des membres allait par la suite, en 1979, fonder le CRATerre.

technique et économique de la construction en terre. Le projet, issu d'un concours d'architecture national (10 architectes et 12 entreprises associées à des équipes universitaires, au CSTB, aux bureaux de contrôle de la construction nationale, à des compagnies d'assurances), est lié à la réalisation d'un colloque national, "actualité de la construction en terre", qui se tient à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, ENTPE, de Lyon. Ce colloque, qui sera suivi d'un deuxième, deux années plus tard, dynamise les échanges scientifiques. En 1983, la France réalise une recherche capitale visant à définir "les voies de la recherche terre française"(Ecole d'Architecture de Grenoble). En 1984, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, CSTB, de Grenoble, associé au CRATerre développe son programme de recherche lancé en 1981 (identification du matériau terre, dispositions constructives, analyse du réseau terre, comportement hygrométrique du matériau terre). Toujours en 1984, un "Centre de Terre" est créé à Lavalette, près de Toulouse (arch. J. Colzani) permettant d'accentuer la réalisation de projets à l'échelle régionale. De 1984 à aujourd'hui, plusieurs réalisations architecturales sont entreprises par des opérateurs régionaux dans le midi de la France, en Corse, en Champagne, à Rennes, près de Toulouse, dans le pays nantais et en Ile-et-Vilaine, dans le Poitou, en Normandie. De nombreux programmes sont engagés dans plusieurs pays étrangers qui mobilisent la participation des chercheurs, des architectes et des entrepreneurs français. Sur cette période allant de 1981 à 1985, soit à peine cinq ans, l'investissement de l'Etat français sur la "filrière terre" se montait à près de 15 millions de francs lourds avec une part dominante accordée la recherche scientifique, technique et architecturale (40 %) et à l'application opérationnelle des résultats de cette recherche (50 %), le reste étant absorbé par une activité de formation naissante.

L'amplification de la formation professionnelle et universitaire.

Le renouveau de la construction et de l'architecture de terre, en France, est très directement lié au développement des activités de formation professionnelle et universitaire. L'offre de formation s'adressant directement aux professionnels du bâtiment a été inaugurée dès la fin des années 70, sous forme de stages organisés par l'Ecole d'Architecture de Grenoble. Des programmes de cours professionnels intensifs, thématiques (technologie des blocs de terre comprimée, habitat économique), sont régulièrement organisés depuis 1987 qui retiennent l'intérêt d'un large public de professionnels issus du monde entier (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, décideurs). Depuis 1989, un programme de formation couvre le thème de la préservation des patrimoines architecturaux en terre dans le cadre d'un projet spécifique, le projet GAIA, qui a été mis en place avec l'ICCROM (Centre International d'Etudes pour la Conservation et la Restauration des Biens Culturels, Rome, Italie). On remarquera enfin que l'activité qui se développe autour du récent renouveau de la construction en terre en France, dans plusieurs régions (Aquitaine, Bretagne, Champagne, Auvergne, Normandie, Provence) donne également lieu à la mise en place de programmes de stages professionnels organisés par diverses associations et par des professionnels de l'architecture ou de l'entreprise s'étant investis au cours de ces dernières années dans la filière terre. La formation professionnelle sera sans doute à l'avenir l'une des clés de l'expansion d'un nouveau marché de la construction neuve et de la restauration du patrimoine qui exige la multiplication des compétences opérationnelles. La France est aussi très en avance dans le domaine de la formation universitaire spécialisée. En effet, l'Ecole d'Architecture de Grenoble, propose une formation spécialisée de longue durée s'adressant aux architectes et ingénieurs. Cette formation, le Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture de Terre (CEAA-Terre) a été inaugurée en 1984 avec l'appui de la Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme du Ministère de l'Equipement. Elle connaît un grand succès car ce ne sont pas moins d'une centaine de candidats issus du monde entier qui présentent leur candidature à chaque inauguration de cursus, tous les deux ans. Actuellement, la restructuration de l'enseignement universitaire dans la perspective de l'ouverture du grand marché européen, ouvre des débouchés sur la création de formations de 3^o cycle (DESS - Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées- , DEA - Diplôme d'Etudes Approfondies - puis Doctorat), mis en place en partenariat avec les universités, où la construction et l'architecture de terre et plus largement l'enseignement de la construction, trouveront des lieux de formation et de recherche scientifique de plus en plus pointus ⁶¹.

La compétence française est par ailleurs bien positionnée sur les actions de recherche-développement, notamment sur des projets de montage de "filrières terre" dans beaucoup de pays où les matériaux de construction en terre sont valorisés dans le cadre de programmes d'habitat économique pour les populations à bas revenus. Ainsi, depuis cette dernière décennie, de très nombreux projets ont été engagés dans les pays du continent Africain, avec le soutien des institutions nationales, européennes et des grandes organisations internationales (onusiennes, notamment). Plusieurs grandes O.N.G. européennes (Misereor, p.e.), soutiennent par ailleurs le développement de la formation des professionnels et contribuent à l'engagement de la réalisation de programmes d'habitat ou d'équipement des communautés (écoles, centres

⁶¹ La Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau est en effet sur le point d'accueillir un grand projet de Pôle d'Enseignement, de Recherche et de Développement de la Construction qui doit innover en matière de formation supérieure et professionnelle par la pratique et qui doit favoriser l'émergence d'une recherche-développement en liaison avec le milieu industriel. La mise en place de ce pôle, dont la programmation pédagogique est déjà engagée, est due à une initiative conjointe des écoles d'architecture (Grenoble, Lyon, St. Etienne, Clermont-Ferrand) et d'Ingénieurs (Lyon) de la région Rhône-Alpes et associe des Centres Scientifiques et Techniques mais aussi les écoles régionales des Beaux-Arts.

sociaux et médicaux). Enfin on notera qu'une nouvelle demande se fait jour, visant à installer des centres de ressources techniques et documentaires ou des écoles spécialisées. Ainsi ont pu être inaugurés récemment un Centre régional important, au Nigeria (le CECTech, à Jos, Etat du Plateau) et une école spécialisée pour la formation des maîtres maçons et des entrepreneurs, au Portugal, à Serpa.

C'est dans cette dynamique de plus en plus consolidée qui associe étroitement la recherche scientifique et architecturale, l'expérimentation et le développement, la formation professionnelle et universitaire, et le projet, que se dessine un avenir concret des architectures de terre en France et au service de plus en plus nombreux pays qui manifestent leur intérêt et qui en ont besoin. Cet avenir est désormais lié à l'apparition d'un marché crédible et viable dans les domaines de la préservation du patrimoine mondial et de la construction pour le plus grand nombre.

Bibliographie sélective

Bertagnin 1992 : BERTAGNIN, Mauro, réédition annotée et commentée du manuel de Del Rosso - *Il pise e la regola manualistica settecentesca per l'architettura in terra*, EdilStampa, Rome, 1992, 107 p.

Cayla 1977 : CAYLA, A., (Dr.) - *Architecture paysanne de Guyenne et Gascogne*, éditions Serg, Paris, 1977, 121 p.

Chapelot et Fosssier 1980 : Chapelot, Jean et Fosssier, Robert - *Le village et la maison au Moyen Age*, éditions Hachette Littérature, Paris, 1980, 357 p.

Cointeraux 1790 : COINTERAUX, François - *Ecole d'Architecture Rurale ou Leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule ou autres matériaux les plus communs et du plus vil prix*, à Paris, chez l'auteur, mars 1790, 51 p.

Cointeraux 1791 : COINTERAUX, François - *Ecole d'Architecture rurale, second cahier*, Paris, 1791, 76 p.

Cointeraux 1791 : COINTERAUX, François - *Ecole d'Architecture rurale, quatrième cahier*, Paris, 1791, 68 p.

Cointeraux 1806 : COINTERAUX, François - *Nouveau pisé ou l'art de faire le pisé par appareil*, Paris, 1806, 19 p.

Cointeraux 1806 : COINTERAUX, François - *Description curieuse et instructive des modèles en pisé et autres que l'on voit dans l'atelier du Sieur Cointeraux, situés sur le chemin de Vincennes, près de la barière du Trône*, Paris, 1806, 20 p.

Doyon et Hubrecht 1942 : DOYON, Georges et HUBRECHT, Robert - *L'architecture rurale et bourgeoise en France*, éditions Dominique Vincent et Cie, Paris, 1942, 1979, 521 p.

Fréal 1977 : FREAL, Jacques - *L'architecture paysanne, la maison, en France*, éditions Serg, Paris, 1977, 375 p.

Fréal 1978 : FREAL, Jacques - *Habitat et vie paysanne en Bresse*, publication J. Fréal, éditions Garnier Frères, 1978, 239 p.

Gilly 1821: GILLY David - *Handbuch des Land-Baukunst*, Frielich Bieweg. Braunschweig, 1821, (Traduction allemande annotée d'une partie des Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale de F. Cointeraux).

Goiffon 1772 : GOIFFON, M.C. - *L'Art du maçon piseur*, à Paris, Le Jai, Librairie Rue St. Jacques, au Grand Corneille, 1772, 57 p.

Holland 1821: HOLLAND, Henry - *François Cointeraux, Pisé or the art of building strong and Durable walls to the height of several stories with nothing but earth*, (Traduction anglaise, adaptée, des Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale de F. Cointeraux), Londres, 1821, également édité par American Farmer, Baltimore, 1821.

Jeannet et al. 1986 : JEANNET, Jacky, POLLET, Gérard, SCARATO, Pascal - *Le pisé, Patrimoine, Restauration, Technique d'avenir, matériaux, techniques et tours de mains*, éditions Créer, Nonette, 1986, 107 p.

Petitjean 1986 : PETITJEAN, Marc - *Les maisons de terre*, in revue "Armen", n° 5, octobre 1986, p. 30-49.

Rondelet 1840 : RONDELET, Jean-Baptiste - *Traité de l'Art de Bâtir*, Paris, 1840, pp. 94-109

Rozier 1781-1796 : ROZIER, (l'Abbé) - *Le Cours complet d'agriculture théorique et pratique*, Paris, 1781-1796

Ouvrages collectifs :

- *Annales de Géographie Armand Colin*, divers articles sur l'habitation rurale en France de Max Sorre, Pierre Vidal de la Blache, Marc Bloch.

- *Architectures de terre et de bois*, Documentation d'Archéologie Française, N° 2, Sous la direction de Jacques Lasfargues, éditions de la Maison es Sciences de l'Homme, Paris, 1985, 191 p.

- *Il faut sauver l'habitat Picard*, DDE, Service départemental de l'Architecture et CAUE de la Somme, 75 p.

- *L'architecture Rurale Française, Corpus des genres, des types et des variantes*, Musée National des Arts et Traditions Populaires, collection dirigée par Jean Cuisenier, éditions Berger-Levrault, Strasbourg. Volumes sur Nord, Picardie / Normandie, Perche / Champagne, Ardennes / Franche Comté, Lyonnais / Dauphiné / Midi Toulousain et Pyrénéen.

- *Maisons de Normandie*, inventaire régional établi par Jacques Fréal, éditions Hachette Littérature, Paris, 1973, 115 p.

Figures : se reporter à la publication originale

Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes

François Cointeraux (1740-1830) pionnier de la construction moderne en pisé

(monographie publiée dans la collection des Cahiers de l'Architecture de terre, éd. CRATerre, janvier 1998)

I - Les fondements de la constitution d'un savoir encyclopédique de portée universelle

Les applications modernes et contemporaines de la construction en pisé (terre compactée mise en forme entre deux banches), et peut-être plus largement en maçonnerie de terre (en petits éléments tels que blocs comprimés), doivent beaucoup à un architecte et entrepreneur d'origine lyonnaise qui vécut entre la fin du XVIII^{ème} à la première moitié du XIX^{ème} siècle : François Cointeraux.

En effet, cette modernité de l'utilisation constructive du matériau terre est fondée sur un très vieil héritage de savoir-faire "régionaux" qui traduisent l'évidence de cultures constructives élaborées, transmises de génération en génération de bâtisseurs sur le mode oral et gestuel mais, l'apport de Cointeraux est essentiel par le fait qu'il formule, au-delà de la continuité du "faire", un véritable corpus de savoir théorique, pratique et critique, de nature encyclopédique, et met en place les conditions favorables à sa large diffusion. On ne compte pas moins de 69 essais, pamphlets et fascicules¹ dont les plus fameux furent traduits ou adaptés en plusieurs langues étrangères, déjà de son vivant². Ses réalisations expérimentales, ses projets et prototypes de systèmes constructifs et bâtiments en "nouveau pisé" (fermes à coupole et toitures icombustibles, maison de l'ouvrier, maison en pisé décoré, maison rurale, fermes et domaines agricoles, manufactures de tissage, bergeries, faisanderies, ruchers, vendangeoirs, ...), furent portées au rang de modèles que copiaient ou plagiaient de nombreux disciples, voire des "contrefacteurs" (terme de Cointeraux énoncé à propos de la copie, par une société d'artistes viennois (Fig.1), de son modèle de toiture incombustible). Cointeraux apparaît aujourd'hui comme un pionnier "éclairé" de la modernité du pisé ajouté d'un promoteur enthousiaste, voire prosélyte, d'un pédagogue mais aussi comme un véritable novateur.

Son apport essentiel ne doit pas pour autant occulter celui de prédécesseurs qui ont fondé les bases de ce savoir encyclopédique et qui lui ont ouvert la voie royale de la gloire qu'il connaît *post mortem*. Par exemple, *Les Dix Livres de l'Architecture*, de Vitruve, dont la traduction française du texte original en latin, de Claude Perrault, remonte à 1673 et qui fut un grand classique de la formation académique des architectes où, la construction en briques de terre, si ce n'est en pisé, est déjà valorisée comme un art de bâtir de première qualité³. Cointeraux y fera inévitablement référence dans son argumentaire promotionnel du "nouveau pisé" qui occupera dans ses écrits une place centrale sous de multiples formes et sur un large registre d'imagination. Autre exemple, l'ouvrage de Charles Estienne et Jean Liebault, *La Nouvelle Maison Rustique ou l'économie générale de tous les biens de la Campagne, la manière de les entretenir et de la multiplier*, plusieurs fois réédité depuis la fin du XVI^{ème} siècle⁴. Puis, l'architecte G.M. Delorme (1700-1782) qui écrivait un *Mémoire pour la construction des murs en terre*, de huit feuillets, lu le 17 mars 1745 à l'Académie des Sciences Belles Lettres et Arts de Lyon, texte repris dans l'édition de 1786 du *Dictionnaire d'Agriculture* de l'Abbé Rozier. Près de trente années plus tard, *L'Art du Maçon Piseur* de Georges-Claude Goiffon, membre des académies des

¹ L'ensemble du fonds des écrits de Cointeraux est disponible à la Bibliothèque Nationale. Son activité de publication est inaugurée en 1790 et s'achèvera en 1826, soit 36 années constituant cette période d'écriture féconde.

² Cointeraux, François, *Ecole d'architecture rurale et économique*, Paris, Imprimerie N.H. Nyon, 1790, 2 p. *Ecole d'Architecture Rurale ; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule*, Paris, 1791. *Ecole d'Architecture Rurale ; deuxième cahier dans lequel on traite de l'art du pisé ..., des qualités des terres propres au pisé ..., des détails de la mise en oeuvre, du prix de la terre*, 76 p. illus., Paris, 1791. *Ecole d'Architecture Rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils ..., 68 p.*, Paris, 1791.

³ Argument d'ailleurs repris par L.B. Alberti (1404-1472), dans son *De Re Aedificatoria*, cf. traduction de J. Martin, Paris, 1553, pp. 48-49.

⁴ Nous faisons ici référence à une huitième édition, datée de 1763, en deux tomes : tome 1, 664 p. et tome 2, 677 p. La maison rustique en murs de terre est évoquée dans le tome 1 aux pages 36-38. Cette édition contemporaine de François Cointeraux est fondée sur un ouvrage original beaucoup plus ancien de Charles Estienne, publié en latin, en 1564, à Paris, sous le titre *Praedium rusticum*, 648 p. Dans *La maison rustique : logique sociale et composition architecturale*, (éditions puf ethnologies, Paris, 1991), Jean Cusenier, directeur de publication du *Corpus de l'architecture rurale française*, observe (p. 33) que les préceptes qui fondent le modèle de la maison rustique, énoncés par Charles Estienne en 1564 demeurent inchangés ou presque jusqu'en 1792, à travers plus de cent éditions, traductions et adaptations de son livre.

Belles Lettres et des Arts de Lyon et de Metz, édité en 1772 par la librairie Le Jai, Rue St. Jacques, Paris, qui était également publié cette même année dans le *Journal de Physique* de l'Abbé Rozier sous forme de mémoire et qui fut sans doute inspirateur. Ce même Abbé Rozier dont le tome VII de son *Cours Complet d'Agriculture Théorique et Pratique*, publié en 1786 et confié à un autre architecte lyonnais, F.C. Boulard, est entièrement dévolu à la description des méthodes de construction en pisé. N'omettons pas de citer aussi un article de Diderot, intitulé *Pisay, pisey, pisé*, publié en 1771 dans *L'Encyclopédie* comme supplément au volume 4 (pp. 384-385).

C'est sur ces bases de savoir formulées par ses prédécesseurs et quelques contemporains que Cointeraux établit son travail d'écriture et de constitution d'un savoir raisonné, théorique, ouvrage qu'il entreprendra pendant la deuxième moitié de sa vie, alors qu'il a déjà cinquante ans, et qui lui consacrera une reconnaissance de ses pairs, malgré bien des oppositions, luttes et difficultés. En effet, de son vivant, l'architecte Jean-Baptiste Rondelet (1743-1829), élève de Soufflot qui l'associa à la construction de l'église de Sainte Geneviève (devenue le Panthéon à la Révolution), et qui dirigea après sa mort (en 1781), en qualité d'inspecteur du monument la construction du dôme et de la triple coupole, élaborait son fameux *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (1802-1817) dans lequel il consacrait un chapitre entier (Fig. 2 et 3) à la construction en terre (briques crues et pisé) mais sous l'intitulé "*des pierres artificielles*"⁵. En note de fin de chapitre, Rondelet "*conseille à ceux qui voudront faire usage de cette manière économique de bâtir, de consulter les ouvrages de M. Cointeraux, professeur d'école d'architecture rurale, qui s'est occupé de ce genre de construction avec beaucoup de zèle et de succès*". L'oeuvre de Cointeraux, de son vivant, est consacrée comme une référence par l'un des praticiens et théoriciens des plus confirmés et écoutés de son époque⁶.

L'oeuvre écrite de François Cointeraux se fonde donc sur ce legs ancien et sur une littérature technique contemporaine qui faisait la part belle à la construction en terre puis à l'emploi du pisé comme mode de construction massive (*opus formarium*), monolithique et solide, qui en valorisait les vertus techniques et économiques autant que hygiéniques et sociales propres à améliorer considérablement l'habitat rural encore majoritairement construit, à cette époque du XVIII^{ème} siècle en matériaux rudimentaires (torchis et bauge, techniques qu'il oppose à son "nouveau pisé", dans leur précarité, leur insalubrité, leur antiquité). Sur cet héritage de savoir déjà bien formulé, l'apport de Cointeraux ne doit donc pas être recherché dans le caractère innovant du propos (bien qu'il le fut à d'autres égards) mais davantage dans l'attitude de l'homme, véritable militant actif et déterminé à promouvoir une architecture rurale de meilleure qualité, plus durable, plus saine, plus économique, plus accessible et donnant toute son énergie à cette cause. Cette attitude le conduisait, non seulement à produire une oeuvre écrite plus abondante que ces prédécesseurs, mais surtout à poser les premiers fondements théoriques de la modernité de la construction en terre. Il diffusait lui-même ses écrits ou son discours théorique par voie de conférences multiples et par les réseaux autorisés et officiels des académies et sociétés scientifiques, littéraires ou artistiques de son époque, mais surtout, il créait une école d'architecture rurale avec des terrains et des ateliers où il expérimentait, démontrait, imaginait et promouvait tout un ensemble de modèles constructifs et architecturaux qui allaient séduire d'autres architectes de son époque et un large public. Cette influence de Cointeraux est typiquement sensible, et observable, sur l'évolution des typologies constructives et architecturales du patrimoine bâti en pisé, urbain et rural, de sa région native, le Lyonnais et le Dauphiné, au XIX^{ème} siècle. Des propriétaires terriens soucieux d'améliorer leurs domaines édifient des dépendances, de riches fermiers construisent des manoirs ruraux puis des bâtisseurs industriels régionaux (industrie du tissage en Dauphiné notamment) réalisent leurs manufactures en pisé et enfin, l'Etat Français lui-même, à partir de la fin du siècle dernier fait construire les écoles publiques ou les mairies-écoles bâties en application de la politique d'éducation nationale de Jules Ferry, en matériaux et techniques traditionnelles et donc en pisé pour le Dauphiné.

C'est dans cette démarche complète qui associe l'écriture d'un savoir et l'enseignement théorique au "faire", à l'expérimentation pratique sur le terrain et en atelier, au chantier-école, qu'il faut bien situer toute l'importance et la modernité de l'apport de François Cointeraux et tout ce qui le démarque de ses prédécesseurs et contemporains qui ont nourri son travail et confirmé son engagement. Les repères biographiques et les événements qui jalonnent le parcours de vie et de travail de Cointeraux sont en mesure de nous éclairer davantage sur cet apport essentiel qui fonde la modernité de la construction en terre (bien au-delà du seul pisé), non seulement en France mais aussi dans le plus vaste monde, par le rayonnement de cette pensée théorique qu'ont véhiculé de nombreuses traductions et adaptations de ses écrits, en

⁵ *Traité de l'Art de Bâtir*, ré-édition de 1840, chapitre deuxième, pp. 94 à 109 avec quatre belles planches gravées.

⁶ Rondelet connaissait François Cointeraux comme ancien compagnon d'étude au Collège de la Trinité de Lyon, chez les Jésuites. La famille de Cointeraux semble par ailleurs avoir été liée à celle de Rondelet et notamment son oncle, Nicolas Fauconnet, qui partageait la profession de maître-maçon entrepreneur avec le père de Rondelet l'ayant lui-même reçu dans la corporation. Dans un article publié dans la Revue "Monuments Historiques" (numéro 116 consacré à la région Rhône-Alpes, publié en 1981), Georges Teyssot, évoquant François Cointeraux, écrit qu'en 1794, une commission composée de Chalgrin, Norry, Raymond et Rondelet, avait conclu favorablement sur un rapport de Cointeraux sur l'École d'Architecture Rurale au Ministère de l'Intérieur.

plusieurs langues, déjà du vivant de l'homme (Allemagne, Italie, Suisse, Angleterre, Danemark et jusqu'aux Etats-Unis, en Australie).

2 - François Cointeraux, l'homme : repères biographiques et principaux évènements d'une vie ⁷

	Repères biographiques et événements de la vie de François Cointeraux.
<p>François Cointeraux naît à Lyon, le 30 septembre 1740, orphelin de son père, Jacques Cointeraux, maître tailleur d'habits, décédé huit mois avant sa naissance, le 27 janvier 1740. Sa famille est alors placée sous la protection de son grand-père qui est maître-maçon et de son oncle, Nicolas Fauconnet, qui est entrepreneur de bâtiment. Durant sa jeunesse, il s'initie à l'agriculture en participant à l'entretien du domaine familial ainsi qu'à la construction en travaillant avec son oncle. Il fait également l'apprentissage de la sculpture dans l'atelier du sculpteur Chabry également maître en peinture à fresque. Il s'initie ainsi à la peinture en trompe-l'œil notamment en travaillant chez Donat Cochet, peintre qui est spécialisé dans ce genre d'ouvrage. Cointeraux dit lui-même avoir passé beaucoup de temps, dans la première période de sa vie, à lire des ouvrages d'agriculture et d'architecture et avoir été l'élève d'un architecte, vraisemblablement Léonard Roux, Prix de Rome (in réf.7.4.,p. 360). Cointeraux acquiert notamment une expérience en projets d'aménagement intérieur.</p> <p>A sa majorité, son oncle qui l'avait désigné comme "<i>héritier universel</i>", le nantit de plusieurs immeubles à Lyon et de "<i>vingt quatre maisons</i>". Son mariage, en 1765, avec Gabrielle Bret, lui apporte une dot substantielle qui lui permet semble-t-il de s'installer lui-même comme entrepreneur de bâtiment, en 1765, puis comme architecte, en 1770, soit à l'âge de trente ans. Cette même année il acquiert une charge d'Expert et d'Arpenteur-Juré près des Tribunaux pour les provinces du Lyonnais, du Forez et du Beaujolais. Jusqu'en 1786, installé et actif à Loyasse, Lyon et Vaise, il exercera plusieurs métiers, simultanément ou successivement : agriculteur, estimateur d'immeubles de la campagne, expert arpenteur-juré, maître-maçon, entrepreneur et architecte (Fig. 4, 5, 6 et 7).</p> <p>Il semble avoir construit de nombreuses maisons durant cette période de sa vie. Dans l'un de ses opuscules⁸, il déclare en</p>	<p>1740 : naissance.</p> <p>Enfance : initiation à l'agriculture et à la sculpture et à la peinture à fresque ainsi qu'à l'architecture.</p> <p>1761 : propriétaire gérant d'immeubles. 1765 : mariage et installation en tant qu'entrepreneur. 1770 : architecte et Expert, Arpenteur-Juré près des Tribunaux.</p>

⁷ Nous nous référons pour ce chapitre à cinq sources documentaires qui fournissent des éléments sur la vie de François Cointeraux :

7.1. : L'article de Georges Teyssot, *François Cointeraux, le premier pionnier et théoricien de l'architecture moderne en terre*, in revue *Monuments Historiques*, numéro spécial 116, de 1981, consacré à la région Rhône-Alpes et reproduit *in extenso* dans *Architecture de Terre*, catalogue d'exposition, Editions du Centre Georges Pompidou, 1986, 224 p., pp. 49-50.

7.2. : Un article de Luigi Cellauo et Gilbert Richaud, *L'oeuvre de Cointeraux*, in revue *Pignon sur Rue*, numéro 30, 1983, pp. 15-17.

7.3. : Une recherche intitulée *Architecture de Terre, François Cointeraux 1740-1830*, MUL/SRA-DAU, mars 1983, 620 p. UPAL, CNRS ATP 3042, A-VENIR, AGRA-UPAG, Cellauo, L., Richaud, G., Bertin, D., Clemençon, A.S., Guillaud, H., Du Boisberranger, F., Doat, P., De Loitière, F., dernière partie de la recherche effectuée par l'équipe AGRA-UPAG.

7.4. : Une communication de Hardouin-Fugier, Elisabeth et Michel, Philippe, *L'oeuvre de François Cointeraux à Lyon (1740-1786) ou le Pisé à l'épreuve du temps*, in *Le Patrimoine Européen Construit en Terre et sa Réhabilitation*, Colloque MELATT / ENTPE / Université Jean-Moulin Lyon III, Mars 1987.

7.5. : différents écrits de Cointeraux qui sont référencés par la suite.

⁸ Cointeraux, François, *Instruction sur l'art de bâtir dans toutes les campagnes et sur les embellissements et améliorations que chacun peut faire dans sa propriété*, 10 octobre 1814, 20 p.

effet : "j'ai construit dans les faubourgs et dans les champs plus de quarante bâtiments". Dans un autre ouvrage compilant les textes de six de ses conférences⁹, il précise que "la cherté des matériaux" et la construction sur "des endroits montueux (Fourvière) l'ont forcé à employer le pisé". Il excelle très vite dans cet art de bâtir et réalise des performances pour l'époque comme une maison de quatre étages, place Saint Just, à Lyon, qui était selon ses dires : "la plus grande et la plus haute maison que l'on puisse faire en pisé". Il aurait aussi construit d'autres maisons dans ce quartier, dont la sienne, ainsi que la loge des Francs-Maçons. On lui attribue aussi la construction de l'Hôtel des Macchabées, construit en pisé et situé hors la porte de Saint-Just, à l'angle des rues de Trion et des Macchabées, qui demeure aujourd'hui dans un état proche de son origine. Il se crée aussi une bonne réputation de fresquiste et de peintre décorateur.

Quoique actif et aisé, durant sa période de maître-maçon et d'entrepreneur à Lyon, Cointeraux s'intéressa très vite à la construction sociale et édifia des immeubles destinés à loger les familles des ouvriers des soyeux lyonnais (un immeuble de trois étages pouvant loger 22 familles). Cette période de sa vie qui le voit aussi agriculteur - il obtient la charge de fermier du domaine de Bellecour-lès-Vaise, propriété du monastère de Sainte Elisabeth-de-l'Observance, à partir de 1776 et pendant dix ans - lui permet de mener aussi des recherches et expériences sur les techniques de rendement des cultures et d'amendement des terres. Il crée une fabrique d'engrais à partir d'une recherche sur le mélange de plâtre et de cendres, à Vaise.

Il semble néanmoins que cette période prospère fut interrompue, en mai 1779, par la nomination de l'Abbé Rozier, comme directeur de la nouvelle pépinière royale qui est installée sur l'emplacement de sa fabrique d'engrais par décision de Antoine-Jean Terray, Intendant de Justice, Police et Finances de la Ville et Généralité de Lyon. L'Abbé Rozier accepte cette charge sous condition de pouvoir créer une école d'agronomie et s'impose en rival à Cointeraux dans ce domaine de l'agriculture et dans le milieu des agronomes et par ses écrits (son *Journal de Physique*, publié en 1772 où il intégrait d'ailleurs le mémoire de G.C. Goiffon sur *l'Art du Maçon Piseur*, publié cette même année). L'Abbé Rozier profite de cette charge officielle qui lui laisse du temps, pour entamer, dès 1781, la rédaction de son *Cours complet d'agriculture théorique et pratique* (1781-1786) qui le mettra d'ailleurs en relation avec d'autres architectes lyonnais s'intéressant aussi au pisé, tel F.C. Boulard, également théoricien. Mais, l'intendant de Lyon, à l'origine de l'infortune de Cointeraux, lui propose plusieurs projets en qualité d'architecte, qui vont donner une nouvelle orientation à sa vie : un lotissement de 24 boutiques-logements le long de la Grande Rue de Vaise - ces maisons portent toujours le nom de "Maisons Cointeraux" - suivi de la réalisation d'un monument en pierres de taille, une obélisque de 50 pieds de haut célébrant la paix, dressée sur une place plantée de tilleuls où aboutissent les deux routes de Bourgogne. Cointeraux satisfait ces commandes qui lui assurent une reconnaissance en qualité "d'architecte de Lyon".

**1776 : fermier du
Domaine de Bellecour-
lès-Vaise.**

**1779 : l'Abbé Rozier
est nommé directeur
de la pépinière
royale de Lyon.**

⁹ Cointeraux, François, *Conférences tenues par le Sieur Cointeraux ... à la suite d'une récente découverte qu'il vient de faire d'une manière de bâtir ...* (1ère - 6ème conférences), Paris, 1808, 108 p.

C'est au cours de cette période allant de 1780 à 1785 que se précise l'engagement social et idéologique autant que stylistique de François Cointeraux. En 1782, c'est en sa qualité "d'architecte de Lyon", qu'il est appelé à Grenoble pour réaliser "*sur la plus belle place de la ville*" (place Grenette), "*un monument de pierres de taille jusques au toit*"¹⁰. L'édifice n'existe plus et l'on ne sait pas bien s'il s'est agi d'un monument ou d'un immeuble qui aurait été commandé par les pères dominicains¹¹.

En 1784, l'Académie d'Amiens, à l'initiative du Duc Béthune-Charost, propose un concours sur "*le moyen le plus simple et le moins dispendieux de prévenir et éviter les incendies dans les campagnes*". Il décide de concourir et rédige un premier mémoire, obtient le prix, face à ses concurrents, trop chers¹². En 1785, il découvre son "nouveau pisé" (il s'agit en fait de blocs de terre comprimée, produits en série, dans un moule glissant, un coffrage fait de deux banches parallèles et de closoirs, Fig. 8). Il construit alors, à Grenoble, sur l'esplanade près de la porte de France, une voûte en vousoirs de terre, première solution de toiture incombustible¹³. Cette même année, Cointeraux crée, près de Grenoble, sa première "École d'Architecture Rurale", un cours public qu'il voudrait voir reconnu par la ville. A dater de cette période, il se présentera toujours comme "professeur d'architecture rurale", en plus de ses autres titres.

Appliquant les idées et modèles qu'il avait proposé pour le concours de l'Académie d'Amiens, en 1784, il réalise une expérience à Chorges, dans les Hautes-Alpes, en 1786, où il construit son premier modèle de maison incombustible. Cette expérience qui connaît un succès local le convie, en 1787, à proposer aux autorités de la ville d'Amiens une expérience grandeur réelle du même type. Il attendit trois mois l'accord d'un terrain, après quelques luttes avec les maîtres-maçons, entrepreneurs et marchands de bois locaux. Son modèle, qu'il construisit avec l'aide d'un perruquier et d'un tisserand ralliés à ses idées, fut détruit par cette conjuration de détracteurs locaux qui le chassèrent hors la ville. Après ces expériences, il rédige un rapport pour les intendants du Dauphiné et de Picardie à propos des incendies des villages de Chorges, Gouthaumes et Oisemont, mais ceux-ci restent sans effet.

Déçu, il se décide alors à aller chercher des appuis et le succès à Paris où il part s'installer avec sa famille, en 1788. "*Sous la protection du Roi*", il fonde sa deuxième école d'architecture rurale qu'il établit sur "*un terrain vague et sans culture faisant partie de celui de l'ancien Colisée*", sur les Champs Elysées, terrain que lui propose le Comte d'Artois et qui lui est loué par

1782 : construction d'un monument en pierres de taille à Grenoble, Place Grenette.

1784 : participation à un concours lancé par l'Académie d'Amiens.

1785 : découverte du "nouveau pisé" (blocs comprimés). Construction d'un modèle de voûte en blocs de terre, à Grenoble. Création de sa première "école d'architecture rurale".

1786 : construction d'un premier modèle de maison incombustible, à Chorges.

1787 : construction d'un 2ème modèle de maison incombustible à Amiens.

1788 : installation à Paris et fondation de sa deuxième "école d'architecture rurale".

¹⁰ Cointeraux, François, *Description curieuse et inventive des modèles en pisé et autres, que l'on voit dans l'atelier du Sieur Cointeraux ...* 1806, 20 p.

¹¹ Voir note 7, références 7.1., p. 1 et 7.3., p. 3.

¹² Cointeraux, François, *Toit incombustible, d'après le modèle et le mémoire qui en 1784 a remporté le prix à l'Académie d'Amiens*, Paris, Imprimerie de P. Nouhaud, 8 p. et, *Mémoire qui a remporté le prix à l'Académie d'Amiens, le 25 Août 1787, pour garantir les bourgs et villages d'incendies*, Paris, 1802, 38 p.

¹³ Cointeraux, François, op. cit., Note 9, *Conférences tenues par le Sieur Cointeraux ...*

l'Administration des Domaines Nationaux ¹⁴. Il est même subventionné pour transporter les matériaux nécessaires à la construction d'un "*modèle de maison construite en pisé suivant les principes et procédés de l'architecture rurale*" que le public vient en foule visiter.

En 1789, il remporte un concours de projet de ferme lancé par la Société Royale d'Agriculture, sur le thème des constructions rurales, et la municipalité de Paris, sur le thème de l'économie de bois de chauffage ¹⁵. Mais, la Révolution lui fait perdre ses appuis, la protection du Comte d'Artois, et son terrain. En 1794, il réinstalle son école d'architecture rurale "*sur le chemin de Paris à Vincennes, près la Barrière du Trône, vis-à-vis Saint Mandé*". Il poursuit ses recherches et expériences, notamment sur les foyers économiques et remporte sur cet objet un prix de la municipalité de Paris. Cette même année 1794, il présente un rapport sur l'École d'Architecture Rurale au Ministre de l'Intérieur qui le fait juger par une commission réunissant Chalgrin, Norry, Raymond et Rondelet, lesquels concluent favorablement et déclarent que "*cet artiste estimable, par les sacrifices qu'il a fait pour perfectionner une partie de l'art de bâtir, essentielle aux agriculteurs et aux habitants des campagnes, mérite d'être secondé*" ¹⁶.

C'est dans ce contexte de recherche-expérimentation et démonstration sur modèles construits associés à l'installation successive de ses écoles d'architecture rurale parisiennes, que Cointeraux entame et développe son activité de publication. De 1790, année qui le voit écrire un premier article de deux pages intitulé *Ecole d'architecture rurale et économique*, à 1826, soit durant 36 années de sa vie, il n'aura cessé de multiplier la publication d'opuscules, essais, pamphlets et conférences sur ce thème de la construction économique, de vanter les vertus de son "nouveau pisé" et de présenter ses découvertes successives. En 1796, Cointeraux repart pour Lyon, pour réparer ses maisons construites à Vaise qui ont été endommagées par un siège de la ville. Il cherche alors à installer son école d'architecture rurale et le fait à Vaise où il se consacre alors à des essais d'enduits sur le pisé (période de travail sur le "pisé décoré", Fig 9 et 10). Mais il regagne Paris en 1797 pour s'opposer à des projets d'embellissement partiel de la ville. Il présente un projet général qui obtient l'avis favorable des Conseils des Cinq-Cents et des Anciens et le Directoire ordonne la suppression de tout projet partiel.

Entre 1800 et 1802, Cointeraux cherche à obtenir une nouvelle concession, par le Domaine National, d'un terrain situé dans l'île aux Cygnes, à Paris. Cela lui est refusé, malgré l'appui de François de Neufchâteau, expert réformateur de l'agriculture.

Mais il veut plus que jamais faire école, recevoir des élèves, répandre ses découvertes. Il intensifie alors ses publications :

1788 : construction d'un nouveau modèle de maison en pisé avec voûte et piliers en blocs de pisé, à Paris.

1794 : troisième "école d'architecture rurale" à Paris.

1794 : appui de Rondelet et autres personnalités.

Multiplication des publications.

1796 : quatrième école d'architecture rurale, à Vaise près de Lyon.

1797 : intervention d'urbaniste, à Paris sur des projets d'embellissement de la ville.

¹⁴ Cointeraux, François, *Instruction sur l'art de bâtir dans toutes les campagnes et sur les embellissements et améliorations que chacun peut faire dans sa propriété*, 10 octobre 1814, 20 p.

¹⁵ Cointeraux, François, *La Ferme, prix remporté à la Société d'Agriculture de Paris, le 28 décembre 1789*, Paris, Imprimerie de Vezard et de Normant, 1791, 14 p.

¹⁶ Cointeraux, François, *Rapport fait sur l'école d'architecture rurale, au citoyen Ministre de l'Intérieur et Observations au citoyen Ministre de l'Intérieur sur les différents articles du rapport*, 1794.

on n'en compte pas moins d'une trentaine en l'espace de 8 ans, de 1802 à 1810 avec une année culminante dans cette activité, 1806, qui le voit rédiger 10 publications.

C'est en effet une année où il semble avoir reçu des encouragements de l'Institut, le conduisant à installer un nouvel atelier, Rue de La Tour, où il met au point la pression instrumentale du pisé avec un outil original, dérivé du principe du pressoir à vin, qu'il baptise du nom de "crécise" (Fig. 11), première presse à blocs de terre comprimée, imaginée par l'homme. Cette découverte l'enthousiasme et il s'active à multiplier les conférences publiques ou dans des sociétés autorisées, publiant ses textes de lectures et mémoires sur ses découvertes, ses nouveaux modèles constructifs de toitures et planchers incombustibles, nouveaux modèles de bâtiments pour faisanderies et bergeries, murs de terrasses solides et durables, murs de clôture en pisé, art de faire le pisé en gros appareil ou en "pierres factices", fermes modèles et méthodes d'amélioration du rendement des cultures, d'amendement et fumage des terres agricoles, nouvelles formes de cheminées, fourneaux, poêles et chaudières économes en bois, citernes et foudres pour le vin en béton (Fig. 12 et 13).

En 1807, il crée une "Association Paternelle" associant toutes les personnes qui l'ont aidé depuis l'obtention d'un brevet, le 18 juin 1807¹⁷, sur une "*nouvelle méthode de bâtir à l'abri des incendies, des ouragans, des neiges amoncelées et l'économie du bois*". Cette association regroupe des personnalités du Ministère de l'Intérieur, le Directeur Général des Ponts et Chaussées, le Maire de Paris, des législateurs, officiers et autres amis et personnes bien en vue.

En 1812, désirant rendre son enseignement plus accessible, il organise dans son atelier de la Rue de la Tour, une exposition de ses modèles en tous genres et fabrique une crécise modèle réduit afin d'initier les jeunes gens à son utilisation. Il en démontrera l'usage dans une école voisine de son atelier.

En 1815, âgé de 75 ans, il se retire au Couvent de Sainte Perrine de Chaillot et, tout en continuant à se présenter comme professeur d'école d'architecture rurale, il continue à intervenir lors d'événements importants pour offrir ses idées. On le voit en effet proposer une "*méthode préservatrice pour garantir les récoltes des foins et des céréales contre l'intempérie des saisons*", en 1816, année marquée par une catastrophe naturelle¹⁸. Puis, en 1826, il proposera au Roi des "Tonnes de Terre" pour améliorer la conservation des denrées. Ce sera sa dernière intervention et publication¹⁹.

Lorsqu'il meurt, dans son couvent, à Paris, le 13 mai 1830, âgé de 90 ans, il semble déjà être oublié mais, ses idées qu'il a porté avec passion, conviction autant que détermination, dans un climat de lutte permanente jalonnée de succès, de joies, d'échecs et de

1806 : installation d'un nouvel atelier à Paris, invention de la "crécise".

1806-1810 : période de découvertes et mises au point de systèmes constructifs et d'équipement de l'habitation et agricoles variés.

1807 : Création d'une Association Paternelle de bienfaiteurs.

1812 : exposition de ses modèles à son atelier de la Rue de La Tour.

13 mai 1830 : mort de François Cointeraux à Paris.

¹⁷ Cointeraux, François, *Description exacte et raisonnée du nouveau toit depuis l'orage ou la tempête du 18 février 1807 et instruction rectifiée depuis le rapport de l'Institut*, Paris, 1807.

¹⁸ Cointeraux, François, *Des récoltes. Méthode préservatrice pour garantir les récoltes des foins et des céréales contre l'intempérie des saisons*, Paris, Brunot-Labbé, 1816, 48 p. Dans cet ouvrage, il aura recours à la forme d'écriture théâtrale, avec jeux de rôles, pour toucher un public de jeunes élèves des écoles qu'il veut instruire à ses idées.

¹⁹ Cointeraux, François, *Au Roi, et pour S.M., à M. le premier gentilhomme de la chambre. Découvertes uniques*. Paris, Imprimerie de Setier, août 1826, 8 p.

déceptions, font déjà des émules, notamment parmi les propriétaires bâtisseurs des campagnes, et vont encore faire écho chez nombre d'architectes en Europe qui sont eux aussi baignés par les préoccupations culturelles de cette époque de la fin du Siècle des Lumières. Un monde nouveau se développe sur de profondes mutations culturelles, sociales, économiques et techniques.

3 - Le contexte historique de l'évolution des idées de François Cointeraux suivi de quelques éléments d'autoportrait

La pensée et l'œuvre de François Cointeraux s'inscrivent complètement dans la mouvance des idées qui émergent en France, et plus largement en Europe, à partir de la deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle. C'est en effet au milieu de ce "Siècle des Lumières" que fait irruption l'idée d'une véritable architecture rurale associée à un programme de développement économique des campagnes. Le modèle normatif de "la maison rustique" et du terroir organisé de Charles Estienne, hérité de Caton en son *Agriculture Romaine*, et donc fondé sur l'autorité des anciens, a fait son chemin et bon nombre de propriétaires terriens, instruits dans l'art de la culture, du labourage et du jardinage, l'ont adopté. L'agronomie fait son apparition en tant que science naturelle et l'on s'active à imaginer et à appliquer tout un ensemble de découvertes techniques qui génèrent l'agriculture intensive, spéculative. On observe alors, simultanément à un réel progrès de l'agriculture, une amélioration très sensible de la qualité du bâti dans les régions les plus riches et désenclavées qui s'inscrivent dans un schéma de développement économique prenant une plus vaste ampleur territoriale.

Dans le même temps, le mouvement des physiocrates, qui trouve un écho important dans l'Encyclopédie de Diderot-d'Alembert et, d'autre part, l'irruption d'une réflexion sur les origines culturelles de l'architecture rurale, notamment dans *l'Essai sur l'Architecture* de Laugier, publié en 1753, vont donner une place centrale à l'habitat rural. Celui-ci n'est plus alors considéré comme un genre de bâti mineur exclu de la pratique architecturale traditionnelle. La construction rurale est élevée au rang d'architecture.

Par ailleurs, on voit se propager une nouvelle idée du bonheur de vivre une existence champêtre, saine et utile. Quelques références traduisent bien ce nouveau climat d'idée. L'Encyclopédie tout d'abord, avec l'article de Diderot intitulé *Le laboureur* qui donne une place de premier rang à l'agriculture dans l'économie de la nation et un rôle essentiel à la population paysanne. D'autres articles de Quesnay, fondateur de l'école physiocrate, tels ceux intitulés *Fermiers* et *Grains*, sont autant de supports doctrinaux et vulgarisateurs de la philosophie physiocratique qui institue le caractère impératif de l'amélioration des conditions de vie paysannes pour engager une nouvelle époque de prospérité nationale. Cette doctrine sera portée et appliquée par de nombreux disciples fameux dont Turgot, le marquis de Mirabeau, Malesherbes.

L'Essai sur l'Architecture de Laugier, habilite la "cabane primitive" comme modèle fondateur du développement de l'architecture civile et publique, à travers les siècles, "modèle sur lequel on a imaginé toutes les magnificences de l'Architecture", citant ici Laugier. La simplicité de ce modèle primitif, son caractère naturel et juste, suscitent un engouement qui répond à l'idéologie du bonheur champêtre et de l'amour de la nature de Jean-Jacques Rousseau. *La Nouvelle Héloïse* (1761) vante cette vie rurale active et saine, occupée par les soucis matériels à l'image de l'idéal de l'existence de M. et Mme Wolmar que dépeint ce roman sentimental et pastoral. Cet idéal instruit aux vérités de l'émotion, de l'intuition, fondé sur l'exaltation du sentiment, de l'amour familial, de la générosité et de la bienfaisance "naturelles", est opposé par Rousseau au caractère vain, futile et mensonger de la vie urbaine qui génère des inquiétudes, des luttes fraternelles, des disparités de propriété. L'écho de cette pensée, en cette fin de siècle, va instaurer une véritable fracture idéologique qui oppose le goût du luxe et son style Rococo à une nouvelle mode de l'existence pastorale et simple. On voit même la construction d'un hameau, d'une ferme et d'une bergerie, à Versailles, à l'usage de la Reine Marie-Antoinette et des dames de la Cour Royale. Il faut donc bien situer la jeunesse et la formation d'esprit de François Cointeraux très attiré par l'agriculture et l'architecture rurale et fondateur du concept "d'Agriecture", dans ce mouvement des idées qui reflète quelques unes des grandes préoccupations de la civilisation illuministe.

Cette fin du XVIII^{ème} siècle qui correspond à l'engagement social actif de Cointeraux est aussi marquée par des crises et révoltes qui vont aboutir à la Révolution. La disette de 1788, les assemblées électorales et les cahiers des doléances du début de 1789 consignent les abus de la féodalité, portent un mouvement de plaintes et de revendications du monde rural. Mais la prise de la Bastille déclenche une "grande peur" dans la paysannerie qui craint une contre-révolution

militaire et une invasion étrangère. Ce n'est qu'avec la nuit du 4 Août 1792 et l'abolissement des privilèges que la révolution donne une véritable citoyenneté aux paysans avec la création des communes et la mise en place d'une nouvelle réalité institutionnelle fondée sur un nouveau cadre géographique.

Les grandes réformes et la guerre aux frontières du territoire de 1792 vont susciter une inflation et une augmentation des prix qui poussent à nouveau le monde paysan à la révolte. La demande pressante de division des gros domaines et de suppression des cultures spéculatives des grands propriétaires terriens, ne trouvent pas d'écho auprès de la Révolution qui est trop occupée à d'autres tâches politiques. Les paysans sentent bien que leurs problèmes ne sont pas compris par les représentants aux assemblées, d'origine bourgeoise et urbaine. Ainsi s'opère un clivage entre la France paysanne et la montée d'une bourgeoisie, une coupure idéologique accusée par une grande disparité des niveaux de propriété.

Avec l'avènement du Directoire (1795-1799), qui continue la politique de guerre aux frontières et les grandes réformes engagées par la convention nationale, et au-delà de l'échec des aspirations communistes et égalitaires de Baboeuf, c'est le triomphe d'une idéologie plus classique, celle de la bourgeoisie révolutionnaire et de son conservatisme "propriétaire". C'est le retour de l'exaltation de la propriété, d'un optimisme profond et d'un rationalisme "éclairé" qui reprend à son compte la doctrine des physiocrates. Les bourgeois se mettent à "penser" et à "agir" pour les paysans. Ils créent les Sociétés d'agriculture qui célèbrent le travail de la terre et les vertus de l'effort et du travail paysan. Les interventions des premiers "agrariens", dont le chef de file est François de Neufchâteau, membre du Directoire et Ministre de l'Intérieur se consacrant à l'étude et à l'encouragement de la production nationale, agricole et industrielle, sont empreintes d'un parfait civisme d'allure romaine. Ces Sociétés d'agriculture cumulent leur vocation avec les autres intérêts traditionnels des académies et sociétés savantes (poésie, archéologie, histoire, sciences naturelles). Elles sont d'un recrutement fort bourgeois, rassemblant des fonctionnaires, avocats, médecins, architectes, propriétaires rentiers, mais tout compte fait assez compétentes car ces gens ont des terres dont ils s'occupent. Leur influence dans les progrès que l'on constate en France au cours de ces années est finalement reconnue.

Les travaux de François Cointeraux, qui fut d'ailleurs soutenu par François de Neufchâteau (celui-ci fit partie de son "Association Paternelle" qu'il créait en 1807), son engagement dans la cause publique concrétisé par ses premiers écrits, à dater de 1790, ainsi que toute sa production d'essayiste et de pamphlétaire jusqu'à la fin du siècle et au-delà, sont tout autant nourris de la pensée des encyclopédistes, de Rousseau et des physiocrates et font directement écho au climat révolutionnaire, réformateur et progressiste de la fin du XVIII^{ème} siècle qui a motivé l'engagement social de quelques bourgeois et entrepreneurs "éclairés" dont il fait partie.

Quelques citations des ouvrages de Cointeraux, qui voulait aussi, peut-être paradoxalement mais bien humainement, être reconnu par ses pairs dans son ouvrage public, traduisent sa dévotion à la cause publique. Ces éléments d'autoportrait ne sont toutefois pas dépourvus de flatterie personnelle et même de prétention.

" Dans la révolution, beaucoup de citoyens ont pensé à eux, et moi, au seul bien public. Je n'ai pas, comme tout le monde, entassé de temps à autre argent sur argent, pour former sur la fin de sa vie un capital ²⁰... pour servir efficacement les humains, j'ai sacrifié biens, repos et mon vrai état d'architecte ²¹... pour la question des incendies, j'ai voulu voir par mes yeux tous les usages qu'on employait dans la campagne ; à cet effet, j'ai visité la cabane du pauvre, pour savoir comment il y vivait, comment il la bâtissait ²² ; mes concurrents se sont contentés d'écrire une seule fois, et moi, je n'ai cessé de faire des voyages et des expériences ²³.

"Si cet artiste s'est jeté dans de si grands frais jusqu'à sacrifier plusieurs fois tout ce qu'il possédait, c'est par la persuasion où il a toujours été qu'il rendrait de plus en plus importants services²⁴."

"Mon école a subsisté, subsiste et subsistera dans les temps les plus reculés parce qu'elle aura servi et servira toujours efficacement l'humanité ²⁵".

²⁰ Cointeraux, François, *La cuisine renversée, ou le nouveau ménage, par la famille du professeur d'école d'architecture rurale, par la famille Cointeraux*, Lyon, Imprimerie de Ballanche et Banet, an IV, 72 p.

²¹ Cointeraux, François, *Du nouveau pisé, ou l'art de faire le pisé par appareil*, Paris, 1806, 19 p.

²² Cointeraux, François, *Ecole d'architecture rurale transportée de Paris à Lyon en 1796*, Lyon, l'Ecole d'Architecture Rurale, an IV, 110 p.

²³ Cointeraux, François, *Application de la charpente incombustible de Cointeraux à la couverture de la halle au blé de Paris*, Paris, 1806, 32 p.

²⁴ Cointeraux François, *Description curieuse et instructive des modèles en pisé et autres, que l'on voit dans l'atelier du sieur Cointeraux*, 1806, 20 p.

²⁵ Cointeraux, François, *Mémoire qui a remporté le prix à l'Académie d'Amiens, le 25 août 1787 pour garantir les bourgs et villages d'incendies*, Paris, 1802, 38 p.

"Il est de la destinée de ces innovations suprêmes, comme tendant au bonheur universel, qu'elles soient lentement accueillies ²⁶".

"Je suis entraîné par l'évidence de l'utilité de mes travaux. Je ne puis croire qu'un jour, on ne se rende généralement à cette vérité ²⁷ (Fig. 14 et 15)."

4 - L'influence des théories de Cointeraux à l'étranger (Fig. 16).

4.1. Une connexion avec l'Angleterre puis l'Australie et les Etats-Unis d'Amérique.

Les écrits de François Cointeraux semblent avoir été introduits assez rapidement, de son vivant, en Angleterre et leur traduction, en langue anglaise, leur donnera un large retentissement jusqu'en Australie²⁸ et aux Etats-Unis d'Amérique²⁹.

Cette connexion avec l'Angleterre s'est établie sur des relations avec un certain Thomas Eccleston, de l'Académie des Arts de Londres, qui loua les services de deux de ses élèves pour réaliser une expérimentation en pisé dans son domaine de Scarsbrick, dans le Lancashire. D'autres personnes, à la même époque, manifestaient le même intérêt pour le pisé, en Angleterre, tel un certain John Plaw (1745-1820) qui fut briqueteur avant de devenir architecte et maître-maçon³⁰. Dans l'un de ses ouvrages, publié en 1800, *Sketches for Country Houses*, Plaw rappelle qu'il mentionnait déjà le pisé dans ses premières publications, avant que celui-ci ne fut "*amplement détaillé par M. Holland, architecte, et publié par le Board of Agriculture*".

C'est en effet un architecte anglais néo-classique, très connu de son époque comme promoteur du "*Anglo-Greco-Roman Style*", Henry Holland (1746-1806), intéressé au pisé à partir des expériences réalisées dans le Lancashire par Thomas Eccleston, qui en assure la promotion, dès 1787-88. Pour le compte du V^{ème} Duc de Bedford, Francis, lui-même séduit par ces expériences du Lancashire, il assure la construction de logements pour les agriculteurs travaillant les terres de l'Abbaye de Wolburn. Le chantier est réalisé sous la direction de l'intendant du Duc, Robert Salmon, avec l'aide d'un ouvrier français³¹ et utilise comme finition la technique de l'enduit *a fresco*, à la chaux, peint, typiquement employée en France sur les constructions en pisé comme le mentionnait F.C. Boulard dans son article écrit pour le tome VII du *Journal Complet d'Agriculture théorique et pratique* de l'Abbé Rozier (1786).

Henry Holland évoque le succès de cette expérience dans le premier volume de communications au "*Board of Agriculture*" (Fig. 17), publié en 1797, document qui va avoir un impact considérable dans le monde anglophone³². L'introduction de ces *Communications* fait d'entrée référence aux écrits de Cointeraux publiés en 1791. Il s'agit du *Troisième Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale*, que Holland aurait reçu des mains de Cointeraux lui-même en se rendant à l'Atelier du Colisée lors d'un passage à Paris, et qu'il va restituer, en anglais, en annexe. Citons :

" *In the year 1791 a work was published in Paris by M. François Cointeraux, containing an account of a method of building strong and durable houses, with no other materials than earth ;* " (...) et plus loin, Holland expose son dessein promotionnel qui s'appuie sur la présentation en annexe de la traduction de l'ouvrage de Cointeraux : "*with a view to promote this desirable end, the account contained in the following pages has been extracted from the French work, and*

²⁶ Cointeraux, François, *Instruction sur l'art de bâtir dans toutes les campagnes et sur les embellissements et améliorations que chacun peut faire dans sa propriété*, 10 octobre 1814, 20 p.

²⁷ Cointeraux, François, *Les récoltes assurées*, 1817, 16 p.

²⁸ Cf. Lewis, Miles, *Victorian Primitive*, Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, Australie, 1977, 87 p. *Origins of Pisé de Terre*, pp. 43-50 et *Pisé in Australia*, pp. 51-58.

²⁹ Cf. Cody, Jeffrey William, *Earthen Wall Construction in the Eastern United States*, Master of Arts, Graduate School of Cornell University, Juin 1985, 460 p. et *Earthen walls from France and England for north american farmers, 1806-1870*, in Adobe 90, preprints, 6th International Conference on the conservation of earthen architecture, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 35-43.

³⁰ Plaw, John, *Rural Architecture or Designs from the Simple Cottage to the Decorated Villa, including some which have been executed*, Londres, 1785, puis 1790 et encore plusieurs fois réédité en 1794, 1796, 1800, 1802 et 1804. Du même auteur, *Ferm Ornee : or Rural Improvements. A Series of Domestic and Ornamental Designs Suited to Parks, Plantations, Rides, Walks, Rivers, Farms, etc.*, Londres, I. and J. Taylor, 1795.

³¹ Salmon, Robert, *Method of constructing commodious houses with earthen walls. Transactions of the Society for the encouragement of Arts, Manufactures and Commerce*, 1809, pp. 185-197. Cf aussi, *Encyclopaedia Londinensis or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature*, XX, p. 519, Londres, 1825.

³² *Communications to the Board of Agriculture ; on subjects relative to the Husbandry and Internal Improvement of the Country*, Volume 1, parts III et IV, Londres, Bulmer and Co, 1797, pp. 373-404.

it will be found to contain every necessary instruction ...". La fin du texte de cette communication de Holland (pp. 403-404) fait aussi référence à une lettre d'un révérend dénommé Jaucour, recteur de Saint Jean de La Rochelle, réfugié de la Révolution en Angleterre (période du serment constitutionnel) qui décrit la méthode du pisé dont il a pu observer l'intérêt à Montbrison (Loire).

La construction en terre existe bien sûr, traditionnellement, en Angleterre, notamment dans le Suffolk sous forme de briques crues ou dans le Devon, sous forme de bauge ("Cob")³³ mais le pisé semble inconnu des anglais à cette époque, même s'il est observé que l'on pratique déjà le procédé du banchage, pour des terres plus plastiques mêlées de paille³⁴.

La traduction de Cointeraux de Henry Holland n'a pas eu, au-delà du milieu autorisé des fervents promoteurs du progrès agricole, une influence immédiate mais ce texte sera repris intégralement ou cité par la suite par d'autres auteurs anglais qui en assureront une plus large diffusion : William Barber, par exemple, avec *Farm Buildings*, publié en 1805, puis le *Farmer's Dictionary* de Abraham Rees, le *Agricultural Dictionary* de Nicholson qui est "Country Gentleman's Architect" de Lugar, en 1807, puis, *Rural Residences* de J.B. Papworth, en 1818 et enfin un autre ouvrage de plus grande diffusion de Abraham Rees, publié en 1819, *Cyclopaedia or Universal Dictionary for Science and Literature* qui donnera une description très détaillée du pisé et des illustrations dérivées de Cointeraux (Fig. 18), déjà reprises par Henry Holland³⁵. A partir de cette abondante activité de publication couvrant le thème des bâtiments agricoles et le modèle du "cottage" au cours des deux premières décennies du XIX^{ème} siècle, en Angleterre, l'exportation de la méthode du pisé et du savoir constitué à partir des travaux français vers d'autres contrées anglophones est alors facilitée.

En Australie :

En Australie, le texte de Henry Holland est publié en 1823 dans le *Sydney Gazette*, en deux parties, sous forme de feuilleton dominical. Cette publication correspond à la fondation d'un nouvel établissement, à Bathurst, où les colons emploient le pisé. L'activité éditoriale journalistique, dans des périodiques, connaît une période faste et plusieurs autres articles sur le pisé sont publiés au cours de cette année 1823. Dans le *Hobart Town Gazette* qui rapporte que ce mode de construction a été introduit en Australie depuis l'Europe et utilisé pour la construction de quelques fermes dans la région³⁶.

L'influence de cette promotion du pisé en Australie semble avoir aussi touché la Nouvelle Zélande où une mission catholique romaine fut construite à Kororareka, en 1841-1842. Le bâtiment qui est aujourd'hui connu sous le nom de *Pompallier House* (Fig. 19) est préservé par la *New Zealand Historic Places Trust*. Cette utilisation du pisé n'a pas été dans ce cas d'origine anglaise mais directement française car la construction de cet édifice fut supervisée par un architecte français, Louis Perret, originaire de la région de Lyon³⁷.

La deuxième moitié du XIX^{ème} siècle semble avoir popularisé le pisé dans plusieurs régions d'Australie, en Victoria où il faisait son apparition, New South Wales et Adelaïde, comme pratique constructive qualitativement supérieure au torchis et à la bauge, ou même au "sod" (mottes de terre gazonnée en hourdage de structures en bois), toutes techniques de construction rurale dominantes à cette époque. Un constructeur dénommé William Kelly a introduit le pisé à Melbourne, en 1853, mais sans succès car son expérimentation se soldait par quelques problèmes d'infiltration d'eau et d'érosion des murs. Il fut suivi par un certain Charles Mayes qui tenta d'améliorer le mode de mise en oeuvre en utilisant des banches métalliques. La *Victorian Industrial Society* offrit des prix pour la meilleure méthode de construction en pisé. Mais, au-delà de cette période, l'engouement australien pour le pisé semble avoir périclité au profit de la construction en briques de terre crue. La littérature de la fin du XIX^{ème} n'en fait plus mention.

Le pisé en Australie demeure malgré tout une technique de construction actuelle et connaissait un regain d'intérêt au XX^{ème} siècle, dans les années 30 (Fig. 20), dans le milieu de communautés d'artistes puis au-delà de la Seconde Guerre

³³ Brunskill, R.W., *Illustrated Handbook of Vernacular Architecture*, Faber Paperbacks, Faber and Faber, Londres, 1971 et 1978, 249 p., p. 190, Carte : Walling Materials : clay, etc...

³⁴ Allen, C. Bruce, *Rudimentary Treatise on Cottage Building*, 2^{ème} édition, Londres 1854, ainsi qu'un ouvrage plus récent de William-Ellis, Clough, *Cottage Building in Cob, Pisé, Chalk and Clay*, Londres 1919, qui se réfère à cette tradition de la bauge coffrée typique du Devonshire.

³⁵ Illustration restituée par Miles Lewis dans *Victorian Primitive* (cf. note 28), p. 47.

³⁶ Références données par Miles Lewis, op. cit, note 28, *Hobart Town Gazette*, 3 mai 1823, lui-même cité par le *Sydney Gazette*, vol.XI n° 1019 du 28 mai 1823. Voir aussi le *Sydney Gazette* vol. XI n° 1021 du 19 juin 1823. D'autres journaux de l'époque mentionnent aussi le pisé : le *Sydney Herald*, le *South Australian Register*, le *Port Phillip Gazette*, le *Port Phillip Patriote*, le *Melbourne Advertiser* et le *Port Phillip Herald*.

³⁷ Howard, Ted, *Mud and Man, The History of Earth Buildings in Australasia*, Earth Buildings Publications, 1993, Melbourne, Australie, 1993, 198 p.

Mondiale, dans les années 50. Julius Jorgensen fondait la communauté de Monsalvat, à Eltham, près de Melbourne et bâtissait sa propre maison en pisé avant d'utiliser l'adobe pour d'autres réalisations. Il était suivi par John Harcourt, journaliste anglais qui s'installait à Eltham et devenait bâtisseur en pisé (Fig. 21). La construction en pisé mais surtout en briques de terre allait revenir au premier plan avec les réalisations de Alistair Knox, employé de banque passionné de construction qui allait développer une grande activité et donner un style propre à l'architecture en "adobe" et structure bois à partir de nombreux projets encore réalisés à Eltham puis dans l'Etat de Victoria. Dans les années 50, un expert des Nations Unies, ancien inspecteur de construction, G.F. Middleton, allait éditer un ouvrage de grande portée nationale, véritable traité pratique de construction en pisé et en adobe, qui allait influencer un grand nombre d'architectes et ingénieurs ainsi que de très nombreux autoconstructeurs³⁸. Les expérimentations de Middleton, ses recherches pour améliorer les techniques de coffrage du pisé, ses premières réflexions à caractère normatif, allaient conforter une véritable modernité du pisé en Australie où des architectes et des entrepreneurs³⁹ ce sont depuis lors spécialisés dans cette technique et produisent des réalisations architecturales d'une très grande qualité.

Aux Etats-Unis d'Amérique :

Aux Etats-Unis d'Amérique, la traduction du texte des *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale* de François Cointeraux, par Henry Holland a également fait son chemin et favorisé la diffusion du pisé. Il faut d'ailleurs noter que le texte des *Communications to the Board of Agriculture* est introduit par une référence à quatre communications de George Washington au Président du Board of Agriculture traduisant l'intérêt que porte le Président des Etats-Unis pour les idées et découvertes développées en Angleterre sur l'amélioration de l'agriculture et leur utilité pour son pays⁴⁰.

Dans un récent travail de doctorat présenté à la Cornwell University, Jeffrey William Cody⁴¹ développe une recherche historique sur les origines du pisé dans les régions est des Etats-Unis. Le deuxième chapitre se réfère très directement à la tradition lyonnaise du pisé et à *l'Art du Maçon Piseur* de Georges-Claude Goiffon, au tome VII de F.C. Boulard dans le *Cours Complet d'Agriculture* de l'Abbé Rozier et aux *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale* de Cointeraux. Ces références sont citées et étudiées, comme base du savoir constitué sur laquelle se fonde l'introduction du pisé en Amérique (New Jersey), via l'Angleterre. Mais, Cody observe que Cointeraux ne semble pas avoir eu d'influence immédiate en France, tout en étant reconnu comme l'autorité prééminente en matière de pisé, son ouvrage ayant définitivement contribué à expliquer la technique avec la plus grande clarté, en des termes théoriques et techniques qui installaient les conditions favorables à l'élargissement d'une audience possible. Cody souligne que le travail d'illustration de la technique et de modélisation constructive et architecturale ont sans doute beaucoup contribué à la popularité de Cointeraux ainsi que son attitude pédagogique avec son Ecole d'Architecture Rurale. On peut alors s'étonner du peu d'impact de ses efforts sur le gouvernement de la France qui ne l'a pas vraiment soutenu, financièrement, pour développer ses idées. Il ne fut d'ailleurs pas le seul puisque d'autres auteurs tel que Borelly⁴² se sont plaints aussi de ce manque de soutien des autorités et du laissez-faire du Bureau d'Agriculture. Cointeraux a eu un fort impact sur d'autres théoriciens contemporains qui ont pris le relais pour la diffusion de ses idées, se les appropriant même parfois. Rondelet lui-même, dont les idées et hypothèses sur l'amélioration des matériaux d'origine minérale par compression, sont reprises par Jean-Henri Hassenfratz, un des fondateurs de l'Ecole Polytechnique, dans son *Traité Théorique et Pratique de l'Art de Calciner la pierre Calcaire et de Fabriquer toutes sortes de Mortiers, Ciments, Bétons, etc ... soit à bras d'hommes, soit à l'aide de machine*⁴³. Rondelet fut lui-même reconnu comme une autorité du pisé en Angleterre, par Edward Cresy qui s'y réfère dans son ouvrage intitulé *An Encyclopaedia of Civil Engineering, Historical, Theoretical and Practical*, publié en 1847. L'édition de 1825 de *l'Encyclopédie Méthodique : Agriculture*, de Tessier, Thouin et Bosc, propose aussi un article (signé Bosc) sur le pisé (pp. 650-652), repris dans l'édition de 1843 avec un nouvel article de Quatremere de Quincy, au chapitre "Architecture" qui fait clairement référence aux écrits et travaux de Cointeraux.

L'influence de Holland aux Etats-Unis comme nouvelle base préparant une large diffusion des idées d'origine européenne favorables à la construction en pisé en milieu rural peut être située au-delà des années 1820 dans le cadre d'une période d'intense activité de publication que l'on évoquait précédemment avec, parmi les ouvrages les plus

³⁸ Middleton, G.F., *Build your house of earth*, Angus and Robertson, 1953, réédité par Compendium Pty Ltd, Melbourne 1975.

³⁹ La Société RAMTEC, Stephen Dobson Pty Ltd, Perth, Western Australia. CEAC, David Oliver, Queensland.

⁴⁰ Washington, George, Philadelphia, 20 juillet 1794, Philadelphia, 10 juillet 1795, Philadelphia, 10 décembre 1796 et Mount Vermont, 15 juillet 1797.

⁴¹ op. cit, note 29

⁴² Borelly, *Journal d'Agriculture et d'Economie Rurale*, 1792

⁴³ Ed. Carilian Goeury, Paris, 1825, pp. 325-327 et pp. 370-381.

marquants, *Farm Buildings* de William Barber (1802 et 1805) et *Rural Residences* de J.B. Papworth (1818), déjà cités, mais aussi, *Design for Cottages, Cottage Farms and other Rural Buildings*, de Joseph M. Gandy (1805), *Compleat Farmers or General Dictionary of Agriculture and Husbandry* de la "Society of Arts", en 1807 (chap. II, *Rammed Earth Buildings*). Parmi les auteurs encyclopédistes, outre Abraham Rees, déjà cité, on doit aussi relever John Mason Good avec *Pantologia. A new Cyclopaedia*, 1813 et Peter Nicholson (1765-1844) avec son *Architectural Dictionary*, 1819.

Simultanément, la première moitié du XIX^{ème} siècle correspond à une forte émigration vers le continent américain, à partir de l'Angleterre. De nombreux colons s'installent en Nouvelle Angleterre et dans le New South Wales, le New Jersey. Cette émigration s'amplifie après l'édition, en 1829, d'un ouvrage très populaire, *The Emigrant Guide*, de William Cobbett. Beaucoup de ces émigrants amènent avec eux le rêve très prisé de la ferme et du *cottage* dont les modèles ont été largement théorisés et appliqués depuis la fin du XVIII^{ème} siècle. C'est dans ce contexte que le pisé, qui permet de construire des maisons solides, durables et économiques, fait son introduction aux Etats-Unis d'Amérique, faisant écho à ce rêve populaire. L'engouement pour ce matériau est appuyé par de nouvelles publications, américaines cette fois : *Rural Economy*, de Stephen W. Johnson, édité en 1806 à New York, qui contient un traité sur la construction en pisé, puis, un peu plus tard, *The Economical Builder : a Treatise on Tapia and Pisé Walls* de E. Gilman, édité à Washington en 1839 qui se réfère très directement aux théoriciens de la question, d'origine anglaise et française.

Quant aux écrits de Cointeraux, il étaient directement introduits par le biais de "l'*American Philosophical Society*" de Philadelphie qui observe, en 1809⁴⁴, avoir reçu d'une personne inconnue 8 volumes des travaux de Cointeraux. Par ailleurs, le texte des *Communications to the Board of Agriculture* avec l'annexe de Cointeraux traduit par Holland ainsi que bien d'autres publications de cette société savante étaient connus des grands promoteurs de l'agriculture moderne aux Etats Unis et faisaient partie de leurs bibliothèques. George Washington, on la vu, entretenait des relations avec cette société et Thomas Jefferson aurait lui-même possédé ces documents⁴⁵. Le texte de Holland, repris par Abraham Rees dans *Cyclopaedia* est diffusé aux Etats-Unis avec une édition américaine produite à Philadelphie entre 1810-1817. Cette édition américaine semble avoir eu une très large diffusion par le réseau des librairies installées, à NewYork, Boston, Salem, Portsmouth, Portland, Baltimore, Washington D.C., Georgetown, Pittsburgh et bien d'autres villes⁴⁶. Stephen W. Johnson, correspondant du journal *The True American*, Trenton, New Jersey, publia plusieurs articles valorisant l'intérêt du pisé et son ouvrage, *Rural Economy*⁴⁷ qu'il dédiait à Thomas Jefferson contient un chapitre entier consacré au sujet, *Farm houses, out-offices, etc...* qui mentionne le pisé et plus largement la construction en terre avec, en introduction une référence directe à Cointeraux et d'autres théoriciens comme G.C. Goiffon et l'abbé Rozier. Johnson ne cite pas Holland à qui il emprunte pourtant ces références et son texte transforme en partie le texte original de l'architecte anglais. Il reproduit également les illustrations qui accompagnaient le texte de Holland qu'il tira lui-même de Cointeraux et Goiffon : filiation directe avec les pionniers français, via les disciples anglais. Johnson réalisait lui-même une expérimentation en pisé, une petite maison de 27 pieds de long (9m.) par 15 de large (5m) et haute de 15 pieds (5m). ce modèle rappelle directement la petite maison de l'ouvrier de Cointeraux et le modèle présenté par Rondelet dans son *Traité de l'Art de bâtir*, en un peu moins sophistiqué⁴⁸ (Fig. 22).

Cet engouement des américains pour le pisé fut encore partagé par d'autres auteurs dont John Stuart Skinner, éditeur à Baltimore, qui publiait le magazine *American Farmer*, de 1819 à 1830. Skinner édita lui aussi le texte intégral de Henry Holland, en 1821, sous forme de feuilleton, comme le *Sydney Gazette* en Australie, ainsi qu'un texte, en 1827 d'un autre fervent "supporter", Alexander Macomb ayant alors fonction de Directeur du Corps des Ingénieurs Militaires depuis 1821, puis nommé comme Commandant Général de l'Armée Américaine, de 1828 à 1841. Macomb valorisa lui aussi les qualités des constructions en "tabby" qu'il put observer dans le Sud-Est américain et évoqua une expérimentation personnelle en Caroline du Sud. Skinner publia encore plusieurs articles rendant compte d'autres expériences de construction en pisé réalisées par des fermiers, notamment les réalisations d'un dénommé John Hartwell Cocke qui érigeait les quartiers des esclaves et d'autres petits bâtiments agricoles, sur sa plantation de Bremono, près de New Canton, Comté de Buckingham, en Virginie. Cocke précise que cette expérience est basée sur le livre de Johnson, *Rural Economy*.

⁴⁴ *Transactions of the American Philosophical Society, Old Series VI*, 1809, p. XXIX, cité par Jeffrey William Cody dans sa thèse (cf. note 29).

⁴⁵ D'après Jeffrey William Cody dans sa thèse (cf. note 29).

⁴⁶ Rees, Abraham, *Cyclopaedia*, Philadelphie, Samuel F. Bradford et Murray, Fairman et Company, 1810-1817, et 1824, XXVIII, cité par Cody p. 161, note 10.

⁴⁷ Johnson, Stephen, W., *Rural Economy*, New York, 1806, 238 p.

⁴⁸ Le dessin de ce modèle est reproduit comme illustration de la Communication de Jeffrey William Cody, intitulée *Earthen Walls From France and England for North American Farmers, 1806-1870*, dans le volume de Preprints de la Conférence Adobe 90, p. 38.

D'autres périodiques spécialisés en agriculture, ont également valorisé le pisé dans les années 1830 : *The Southern Agriculturist* et *The Genesee Farmer*⁴⁹. L'ouvrage *Economical Builder : a Treatise on Tapia and Pisé Walls*, de E. Gilman, édité à Washington en 1839 et directement inspiré des écrits de Abraham Rees et de Macomb, a aussi contribué à la diffusion des connaissances théoriques et pratiques sur le pisé auprès de nombreux propriétaires terriens, fermiers, ingénieurs civils et militaires, architectes qui ont appliqué concrètement la technique sur leurs réalisations autoconstruites ou projets. Par exemple, un dénommé William W. Anderson, installé en Caroline du Sud, à Stateburgh (Stateborough), réalisa plusieurs bâtiments en pisé dans le cadre d'une extension de son domaine de plantation entre 1821 et 1823. Ces bâtiments ont été déclarés monuments historiques en 1972.

Cette popularité du pisé et des constructions en terre dans le milieu des sociétés d'agriculture américaine et auprès des fermiers a connu son *acmé* vers les années 1850, se propageant, à partir du New Jersey et des Etats du Sud (Caroline et Virginie), vers l'Indiana grâce à un promoteur zélé du nom de Henri Leavitt Ellsworth, premier Officier Ministériel Patenté des Etats-Unis, chargé par le Congrès de rédiger des rapports annuels sur le rôle crucial de l'agriculture dans la prospérité nationale. Ses rapports des années 1843 à 1845 valorisaient le matériau terre et la construction en pisé autant qu'en briques crues pour l'habitat rural. Ellsworth réalisa lui-même des expérimentations et un petit bâtiment à Grand Prairie, Indiana⁵⁰. Ces rapports de Ellsworth étaient par la suite publiés dans divers journaux comme le *Western Farmer and Gardens*, d'Indianapolis, puis le *Prairie Farmer* de Chicago où d'autres articles d'un journaliste du nom de John Stephen Wright, écrits entre 1843 et 1855 feront mention de la construction en terre près d'une quarantaine de fois⁵¹. Cette large diffusion journalistique de l'engouement pour le pisé et les autres matériaux de construction en terre a sans aucun doute contribué à élargir l'audience pour leur emploi qui allait aussi gagner l'Etat de New York grâce au support médiatique d'autres journaux comme *The Cultivator* et *The Country Gentleman*, tous deux basés à Albany, N.Y. De même en Illinois avec l'appui du *British American Cultivator* considéré à l'époque comme l'un des meilleurs périodiques d'agriculture à très grand tirage. D'autres ouvrages d'architectes très populaires, comme William H. Ranlett (1800-1865), installé à New York⁵², ont diffusé des modèles architecturaux de *cottages* "construits en matériaux bon marché, directement tirés du sol" (terre, pierre, bois), qui furent très prisés. Ranlett fait clairement référence à l'intérêt qu'il porte à la brique de terre crue qu'il utilisa dans beaucoup de ses réalisations ainsi qu'au pisé et fournit des détails de construction très précis et documentés sur ces techniques. D'autres auteurs tels que Charles P. Dwyer⁵³ ont aussi vanté l'utilité, l'économie et la qualité du pisé, de l'adobe et de la bauge, pour les constructions rurales.

Dans les territoires des différents Comtés de l'Etat de New York, les travaux de recherche menés par Lee Dassler (cf. note 52.2.), relèvent une période d'activité de construction en terre située entre 1833 et 1855. Plusieurs maisons (environ une trentaine) ont été repérées dans les Comtés de Otsego et de Oswego (Ouest et centre Nord) ainsi que dans les Comtés de Monroe, Wayne, Ontario, Seneca, Tompkins et Steuben. Seules celles bâties durant la première époque (années 1830) le sont en maçonnerie de terre monolithique alors que par la suite, les constructeurs semblent avoir préféré la brique d'adobe, ce qui pourrait confirmer que le pisé ait ensuite perdu de sa popularité. Cette période qui va de 1830 à 1850 correspond à une rapide expansion de l'Etat de New York qui semble avoir utilisé la terre en milieu rural comme matériau de construction bon marché et donc accessible aux familles créant de nouveaux établissements. Mais la fin de cette période correspond aussi au développement de l'industrie du béton avec l'apparition du ciment Portland. L'impact de ce nouveau matériau va très vite rendre désuettes les techniques de maçonnerie en terre coffrée mais la maçonnerie en briques crues demeurera une technique encore très populaire.

La période de la Guerre Civile de Sécession entre les Etats du Nord et du Sud (1861-1865) a bien sûr occulté l'intérêt pour la construction en terre dans la littérature journalistique américaine qui en était le principal vecteur de diffusion populaire. Après cette guerre tragique et dévastatrice, la popularité de la brique crue s'est accrue, notamment dans les Etats du Sud et du Sud-Ouest qui l'utilisaient déjà. Dans ces régions (Texas, Nouveau Mexique, Arizona, Californie), l'emploi de l'adobe est hérité d'anciennes traditions indiennes et hispano-mexicaines qui n'ont semble-t-il pas connu

⁴⁹ *Genesee Farmer*, Vol. IV, n° 39 du 27 septembre 1834 ; n° 44 du 1er novembre 1834 ; Vol V, n° 5 du 31 janvier 1835 ; Vol VII, n° 6 du 11 février 1837 ; Vol. VIII, n° 3 du 4 août 1838.

⁵⁰ Le dessin de ce modèle est reproduit comme illustration de la Communication de Jeffrey William Cody, intitulée *Earthen Walls From France and England for North American Farmers, 1806-1870*, dans le volume de Preprints de la Conférence Adobe 90, p. 40

⁵¹ Observation de Cody dans sa thèse, cf. note 29.

⁵² Sur l'Etat de New York :

- 52.1. Ranlett, William H., *The Architect, A Series Of Original Designs for Domestic and Ornamental Cottages and Villas, Connected with Landscape Gardening, Adapted to United States, Vol. II*, New York, Dewitt et Davenport, 1849.

- 52.2. Dassler, Lee, *Nineteenth Century New York State Earthen Homes : An Investigation Of Their Material Composition*, in Adobe 90 Preprints, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 430-437.

⁵³ Dwyer, Charles P., *Economic Cottage Builder*, Buffalo, Wanzer, Mackim et Company, 1856, chap. V : *Pisé, Adobe and Cob-wall*.

d'interruption et qui étaient adoptées par les colons et pionniers de l'Ouest. Cette tradition constructive s'est maintenue jusqu'à nos jours avec une originalité propre aux Etats-Unis depuis les époques modernes (fin XIX^{ème} et début du XX^{ème} siècle) : le degré de mécanisation de la production que l'on peut observer dans les unités de production actuelles de ces régions (fabrique Hans Sumpf à Fresno, Californie, par exemple, où la production atteint 30 000 blocs / jour).

Le pisé n'a fait sa réapparition aux Etats-Unis que très récemment, depuis la fin des années 70 et au cours des années 80. Il a été remis au goût du jour par un avocat du Colorado et son épouse, David et Lydia Miller. David Miller l'a redécouvert, bizarrement, lors d'un voyage en URSS, dans un ouvrage lu dans une bibliothèque soviétique. De retour aux Etats-Unis, il construisait sa maison en pisé puis contribuait à répandre cette technique dans la région de Denver par des stages de formation et des publications⁵⁴. Lydia et David Miller ont très largement contribué à cette renaissance du "pisé de terre" aux Etats-Unis, reprenant le fanion de François Cointeraux et de ses successeurs, près de un siècle et demi plus tard, en publiant une bibliographie⁵⁵ sur le pisé qui rassemble de très nombreuses références issues de revues, journaux, rapports techniques et scientifiques, livres publiés dans 22 pays et par diverses institutions gouvernementales et internationales. Au titre "France" on trouve bien sûr les *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale* de Cointeraux mais on ne retrouve pas Henry Holland au titre Royaume Uni. Application d'un vieil adage : rendons à César ce qui appartient à César. Plusieurs entreprises spécialisées dans la construction en pisé se sont depuis lors installées dans le Sud-Ouest des Etats-Unis, en Arizona (Schmidt Builders à Saint David), au Nouveau Mexique à Santa Fe et en Californie (David Easton) qui ont ouvert ces dernières années un nouveau marché de la construction et de l'architecture en pisé avec une qualité de réalisation comparable à celle développée en Australie

4.2. Cointeraux et les autres pays européens

L'influence des écrits et de l'ouvrage de Cointeraux ne s'est pas limitée à l'Angleterre qui servait de tête de pont vers l'Australie et les Etats-Unis d'Amérique. L'intérêt et la mobilisation intellectuelle des académies et sociétés savantes, bourgeois propriétaires terriens, des praticiens de la construction rurale et architectes, participent d'un mouvement beaucoup plus ample qui est associé à la large diffusion des préoccupations de la civilisation des Lumières en matière de progrès de l'agriculture, dans l'ensemble des pays européens, par voie de relations, communications, discussions de salons et de cours. Ainsi, Cointeraux a-t-il été suivi, reconnu, plagié, en Prusse, en Italie, mais aussi jusqu'en Scandinavie où ses écrits théoriques fondamentaux furent traduits ou réadaptés et diffusés faisant de nombreux disciples. Parmi ceux-ci quelques personnalités plus marquantes ressortent dans un paysage de publication parfois très abondant : David Gilly, en Allemagne et Giuseppe Del Rosso, en Italie.

En Allemagne

L'utilisation constructive de la terre pour l'édification d'ouvrages ruraux ou urbains, en Allemagne, remonte à des temps très anciens. Région de culture constructive héritée des pratiques d'Europe centrale et nordique, où prédominaient pendant plusieurs siècles l'architecture en rondins de bois ("*blockbau*") puis de bois hourdé de mottes de terre ou de torchis (site moyenâgeux de Warendorf du VIII^{ème} au X^{ème} siècle, par exemple), l'Allemagne a aussi développé très tôt l'emploi de la brique de terre crue, en maçonnerie porteuse ou de remplissage. Le patrimoine d'architecture de terre allemand est particulièrement important et riche d'exemples variés mais les témoignages très anciens sont rares outre ceux de nature archéologique. C'est la période de l'histoire récente allant du XVIII^{ème} au XIX^{ème} siècle qui restitue le plus d'ouvrages en bon état de conservation, particulièrement sur les territoires nord-orientaux (Schleswig-Holstein) et dans les régions de Basse-Saxe, Hambourg et Brême, ainsi qu'en Wesphalie, sur les territoires au Nord du Rhin et en

⁵⁴ Miller, Lydia A. et David, *Rammed Earth Homes, Manual for Building a Rammed Earth Wall*, Greeley, Colorado, 27 p. + annexes. Dans cette publication, les Miller font aussi référence à des textes australiens de 1964 et 1971, *Notes on the Science of Building* du "Experimental Building Station" et du "Ministry of Works" qui se réfère à la source éditoriale récente faisant autorité : le livre de G.F. Middleton qui est d'ailleurs devenu avec sa cinquième édition de 1988, le texte normatif en vigueur en Australie.

⁵⁵ Miller, Lydia et David, *Rammed Earth, A Selected Bibliography with a World Overview*, Rammed Earth Institute International, Greeley, Colorado, 1982, 93 p.

Hesse⁵⁶. Des dizaines de milliers de maisons en terre "massive" (pisé et bauge) auraient été construites à cette époque et cette activité de construction en terre très importante se poursuivait au XX^{ème} siècle avec un nombre de réalisations évalué entre 30 000 à 40 000⁵⁷. Parmi les constructions du début du XIX^{ème} siècle, plusieurs exemples paraissent très directement inspirés des modèles architecturaux de François Cointeraux, notamment dans la région du Schleswig-Holstein qui semble avoir adopté l'argumentaire de l'économie et de l'incombustibilité des maisons en pisé de Cointeraux dont la promotion était assurée, simultanément, par la traduction allemande des *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale* par David Gilly, en 1793⁵⁸, et par une traduction d'origine danoise de K.H. Seidelin de 1796⁵⁹ qui fut également diffusée dans cette région. L'architecte Jochen Georg Güntzel, du Département d'Architecture et de Design Intérieur du Polytechnique de Lippe, a réalisé un travail historique très complet avec une thèse⁶⁰ sur cette histoire de la construction en terre allemande, qui nous sert ici de référence.

Les autorités de certaines régions allemandes, notamment de Saxe et Thuringe, se sont très tôt intéressées à l'emploi de la terre en construction. Cet intérêt était motivé par la recherche de solutions contre les risques d'incendie des villages alors que la construction rurale traditionnelle utilisait en abondance le bois pour la structure de type colombage et le chaume en couverture. Cet intérêt répondait aussi au souci de préserver le patrimoine forestier très entamé par une utilisation massive du bois comme combustible de chauffage, de cuisson et pour l'activité industrielle comme pour la construction navale. Les arguments de l'incombustibilité et de l'économie de bois semblent en effet avoir été déterminants pour la promotion du matériau terre et cela peut expliquer l'accueil enthousiaste des idées de Cointeraux à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle.

L'Allemagne n'est bien sûr pas restée en retrait des grandes préoccupations du Siècle des Lumières et plusieurs personnalités acquises à la mouvance des idées de l'époque ainsi que des sociétés d'agriculture ou savantes berlinoises se sont aussitôt saisies des idées de Cointeraux dès leur diffusion. Ces idées étaient reçues comme les seules à même d'améliorer les techniques de construction, la durabilité et la qualité de l'habitat et surtout à même de permettre cette économie de bois tellement préoccupante dans ce pays.

Mais, avant Cointeraux, le premier ouvrage repéré qui concerne l'architecture de terre remonte à 1736. Il fut écrit par un architecte du nom de Richter, originaire de Saxe, qui, pour des raisons de mise à disposition d'exercice professionnel du fait d'une maladie, prenait loisir à s'intéresser à l'amélioration des conditions d'habitat et à proposer de nouvelles idées et modèles. L'argument de l'incombustibilité des constructions en terre est également central dans le propos de Richter qui diffusa ses articles, édités à compte d'auteur, parmi un réseau d'amis. L'un de ces articles intitulé "la maison incombustible" propose un modèle de construction dont la structure est en piliers porteurs massifs, de terre, et la toiture en voûtes de pierres remplies de terre argileuse et de terre plantée jusqu'à obtenir une forme plate (Fig. 23).

Un autre théoricien de l'architecture, Wilhelm Tappe (1769-1823), également artiste, s'intéressa de très près à la construction en terre et notamment en briques crues pour des applications à l'habitat des classes sociales défavorisées. De 1813 à 1819, Tappe fut en poste d'architecte en chef de Lippe et trouva un appui auprès de la princesse Pauline,

⁵⁶ Revue *Bauen Mit Lehm*, n°1, ökobuch Verlag, Grebenstein, 1984, 80 p. Un article de Güntzel, Jochen Georg, *Historische Lehmbauten in Schleswig-Holstein*, pp. 52-66.

- Revue *Bauen Mit Lehm*, n°2, ökobuch Verlag, Grebenstein, 1985, 78 p. Un article de Jochen Georg Güntzel, *Historische Lehmbauten in Niederschsen, Hambourg und Bremen*, pp. 57-69.

- Revue *Bauen Mit Lehm*, n°3, ökobuch Verlag, GHK Kassel, 1985, 80 p., Un article de Jochen Georg Güntzel, *Historische Lehmbauten in Nordrhein-Waestfalen*, pp. 70-76.

- Revue *Bauen Mit Lehm*, n°4, ökobuch Verlag, GHK Kassel, 1986, 78 p., Un article de Jochen Georg Güntzel, *Historische Lehmbauten in Nordrhein-Waestfalen, Teil 2*, pp. 54-66.

- Revue *Bauen Mit Lehm*, n° 6, ökobuch Verlag, GHK Kassel, 1987, 79 p., Un article de Jochen Georg Güntzel, *Zur Geschichte des Lehmbaus in Hessen*, pp. 52-59.

⁵⁷ Güntzel, Jochen Georg, *On the History of Clay Buildings In Germany*, in Adobe 90 Preprints, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 57-65

⁵⁸ Les *Cahiers d'Ecole d'Architecture rurale* de Cointeraux ont donné lieu à une traduction de David Gilly qui les a édités sous deux formes différentes et par deux éditeurs régionaux distincts :

- Cointeraux, Franz, *Schule der ländlichen Baukunst (école d'architecture rurale) oder Anweisung feste Häuser von mehreren Stockwerken bloss mit Erde oder anderen gemeinen und wohlfeilen Materialien zu bauen*, 1793, Nürnberg und Altdorf.

- Cointeraux, Franz, *Schule der Landbaukunst, (école d'architecture rurale) oder Unterricht, durch welchen jeder die Kunst erlernen kann, Häuser von etlichen Geschossen aus blosser Erd-oder andererseits gemeinen und höchst wohlfeilen Baustoffselbst dauer-haft zu bauen*, 1793, Hildburghausen.

⁵⁹ Seidelin, K.H., *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux Beskrivelse og i afskilligt forandret*, 1796, Kopenhagen.

⁶⁰ Güntzel, Jochen Georg, *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland, Staufen* : ökobuch-Verlag, 1988. Cette thèse restitue également un énorme travail de récollecion documentaire avec près de 1 600 titres répertoriés.

personnalité progressiste et engagée dans la cause sociale et publique. Il développa alors des idées tout à fait originales et conçut des modèles d'habitat en forme de coupole ogivale pouvant être bâtis en briques de terre ou en mottes de gazon, sans coffrage (Fig. 24). Ces modèles s'inspirent très directement de l'archétype de la hutte primitive, traduisant par là l'impact des idées de l'époque de type rousseauiste ou à l'instar de Laugier. Tappe suggérait que ses modèles d'habitation fussent réalisés en autoconstruction, avec l'entraide du voisinage, sans faire appel à des professionnels, de façon à limiter les dépenses. Les écrits ultérieurs de Tappe (près d'une dizaine) abordèrent aussi la question des édifices publics et proposèrent des modèles de monuments, ponts et églises qui valorisaient son attrait esthétique pour les formes elliptiques.

Les écrits de Cointeraux ont eu, à l'évidence, une plus grande portée en Allemagne qu'en France et en l'espace de quelques années seulement. Un architecte berlinois, David Gilly, fondateur de la *Bauakademie*, s'intéressa à promouvoir le pisé et publiait des articles, déjà avant de connaître le théoricien français⁶¹. Lorsqu'il traduisit les *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale*, deux ans seulement après leur édition française, il trouva un écho favorable pour quelques expérimentations avec le soutien d'une organisation de type patriotique dans le Schleswig-Holstein. Peu après, l'influence d'une traduction danoise de Cointeraux par K.H. Seidelin en 1796 (cf note 59), appuya cette motivation déjà enthousiaste dans cette région et les premières expérimentations furent engagées. Un projet d'habitat privé commandé par le directeur des pompiers de Meldorf, M. Boeckmann, fut d'ailleurs l'occasion de concrétiser une collaboration entre un "maître de construction rurale" danois, C.F. Hansen (1756-1845) et un architecte allemand, Wilhelm Meisner. Le plan et le style de cette maison empruntent directement aux modèles architecturaux de François Cointeraux. Le bâtiment est encore en parfait état de conservation et d'usage, deux siècles plus tard (Fig. 25 et 26).

Les écrits de Cointeraux ont été également traduits et diffusés par d'autres personnalités, postérieurement à Gilly. On connaît une édition de 1803, produite à Leipzig, par Christian Ludwig Seebass, Professeur de Philosophie à l'Université de Leipzig, qui rassemble l'intégralité des *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale*⁶² (Fig. 27 et 28). L'activité d'écriture de David Gilly s'est poursuivie et l'on note la publication d'un fascicule à l'usage des maîtres-maçons, plusieurs fois édité entre 1797 et 1836, ce qui laisse imaginer son succès public⁶³. Un autre esprit novateur de cette époque manifesta le même intérêt que Gilly pour le matériau terre et plus globalement pour une architecture "naturelle" : le physicien Christophe Bernhart Faust (1755-1842) qui développait les idées du mouvement des hygiénistes du début du XIX^{ème} siècle. Dans son ouvrage⁶⁴, Faust avance de nombreuses propositions pour améliorer l'état des maisons, notamment à propos du traitement de l'humidité des murs et des toitures et aussi pour un meilleur éclairage et chauffage naturel en utilisant des double-vitrages et l'inertie thermique de murs massifs. Il proposait ainsi un modèle de maison en terre bioclimatique, comme le fit d'ailleurs Cointeraux, près de un siècle et demi avant nos réalisations contemporaines.

Le mouvement favorable à la construction en terre semble avoir pris de l'ampleur vers les années 1835-40. Faust était suivi par d'autres auteurs, tel Ernst Conrad⁶⁵ puis par un avocat propriétaire industriel, Jacob Wimpf, qui semble avoir été un constructeur très entreprenant et qui réalisait plusieurs de ses bâtiments industriels en pisé. Il écrivit lui-même un traité⁶⁶ et érigea, en 1837, dans la ville de Weilburg, le plus haut bâtiment connu en Allemagne, en pisé, un immeuble d'habitations familiales de cinq étages, sur un terrain pentu (Fig. 29). Ce bâtiment existe toujours et demeure l'édifice le plus haut car les normes allemandes sur la construction en terre qui furent édictées par la suite restreignaient la hauteur des ouvrages en terre à un ou deux étages. Wimpf avait une foi exceptionnelle dans les performances techniques du pisé et on lui attribue cette déclaration : "*J'aimerais oser construire une tour aussi haute que la flèche de Strasbourg (141 m.). La cohésion de la terre grâce à la méthode de compression est beaucoup plus élevée que celle d'un mur de pierre*".

⁶¹ Gilly, David, *Beschreibung einer vortheilhaften Bauart mit getrockneten Lehm ziegeln*, Berlin, 1790, 11 p.

⁶² Cointeraux, François, *Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang : oder vollst. u. Fassl. Beschreibung d. Verfahrens, aus blosser gestampfer Erde, ohne weitere Zuthat, Gebäude u. Mauerwerk von aller Art wohlfeil, dauerhaft, feuerfest u. sicher gegen Einbruch aufzuführen/aus dem französischen Original der Cointeraux*, Leipzig, 1803, 195 p. Une réédition récente, en facsimilé a été produite, toujours à Leipzig, à l'initiative de Wolfgang Dehmel : François Cointeraux, *Die Pisé-Baukunst ; Das Klassische Buch über die Kunst des Lehmbaues*, ZA Reprint, Leipzig, 1989, 206 p.

⁶³ Gilly, David, *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Friedrich Vieweg dem älteren, Berlin, 1797

- Gilly, David, (réédition de l'ouvrage précédent), *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Rengerschen Buchhandlung, Halle, 1811

- Gilly, David, *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Friedrich Vieweg, Braunschweig, 1818

- Gilly, David, *Handbuch des Land-Baukunst*, Friedrich Bieweg, Braunschweig, 1821

⁶⁴ Faust, B.C., *Der Lehmsteinbau*, Buckeburg, 1839

⁶⁵ Conrad, Ernst, *Veder den Pisé-Bau.*, Kretschmar, Chemnitz, 1840

⁶⁶ Wimpf, Jacob, *Der Pisé-Bau*, Heilbrann, 1841, 60 p.

On sait par ailleurs que Wimpf vanta l'utilité de la construction en terre pour les établissements des colons allemands qui portaient s'installer dans le Nouveau Monde. Il rejoignait ainsi le même engouement que des auteurs nord-américains contemporains (Stephen W. Johnson, E. Gilman, William H. Ranlett, Charles P. Dwyer).

La construction en terre n'a jamais désintéressé les allemands et plusieurs auteurs dont A. Engelhardt, R. Jobst, C. Kuntzel et O. Ritgen, parmi les plus connus, publiaient d'autres livres dans les années 20 de notre siècle⁶⁷. Ces années correspondent à la construction, en régions de Prusse et Saxe à plus de 2 000 habitations et une étude réalisée par E. Schleicher dénombre 17 300 logements construits entre 1920 et 1921 dans ces mêmes régions⁶⁸. Les pouvoirs publics de Prusse et plus particulièrement le *Wohlfahrtsministerium* ont vivement encouragé la construction en terre en créant des écoles pour spécialistes, en subventionnant des ateliers d'étude spécialisés dans la construction économique et "naturelle", en organisant un réseau de centres de conseils établis dans chaque district et rattachés au Centre de recherche géologique de Berlin. Un grand centre spécialisé de formation et de recherche a été créé dans la ville de Sorau. L'École d'Architecture Rurale de Cointeraux, subventionnée par les pouvoirs publics a donc bien vu le jour à peine soixante ans après sa mort et il ne se trompait donc pas en déclarant que ses idées seraient "*lentement accueillies*" ou que l'on se rendrait généralement à cette "*vérité de l'utilité de ses travaux*".

Après une chute de motivation pour la construction en terre au-delà des années 1923-25, cantonnée à son intérêt "écologique", on observe un regain d'intérêt à partir de 1939, du fait du rationnement des matériaux de construction à cause de la politique industrielle de guerre du régime hitlérien. Un vaste programme a été lancé par les idéologues du régime (Albert Speer et Heinrich Himmler) dans le cadre de l'installation des populations allemandes venant des Pays Baltes et de Russie sur les territoires polonais annexés. Des guides de construction en terre ont été édités par le centre de Posen fournissant des spécifications techniques générales et ont été diffusés en 1943. Des normes DIN sur la construction en terre ont été éditées en octobre 1944 et sont restées très longtemps employées avant d'être retirées (années 70). À l'égal du centre de Posen, beaucoup d'autres centres de conseils, d'information et de formation, d'aide pratique ont été créés afin de faciliter la mise en œuvre du programme lancé par le III^{ème} Reich. Cette valorisation de l'emploi de la terre en construction a été relancée dès le lendemain de la Seconde Guerre Mondiale avec la reconstruction de l'Allemagne sinistrée par les bombardements de 1944-45. Deux constructeurs allemands spécialisés et dotés d'une grande expérience, Richard Niemeyer et Wilhelm Fauth ont publié des traités techniques qui font encore autorité aujourd'hui⁶⁹. De très nombreux bâtiments ont été alors réalisés, de type agricole, des logements et leurs annexes et plusieurs directions générales de la *Reichsbahn* (Compagnie nationale des chemins de fer) ont développé des programmes exemplaires de construction de logements pour leurs employés, de bâtiments de stockage, gares et barraquements, à Berlin, Stuttgart, Hanovre, Saarbrücken, mais également en Autriche, à Vienne et à Linz. Mais c'est en ex République Démocratique Allemande, après la guerre, que ce mouvement de reconstruction en terre a pris le plus d'ampleur, en milieu rural. Ce sont ainsi des milliers de bâtiments ruraux⁷⁰ qui ont été construits en pisé dans les années 1945 à 1958 avec des prolongements de cette activité dans les villes, petites et moyennes, pour des logements de un ou deux niveaux et pour la construction d'écoles. Avec le retour du progrès industriel et le désenclavement de la distribution des matériaux sur le territoire grâce à la reconstruction et l'extension du réseau des transports, la construction en pisé connaissait un déclin à partir des années 60 pour refaire son apparition dans les années 70 sur le terrain de la crise de l'énergie et de la recherche d'alternatives technologiques à la consommation pétrolière de l'industrie de la construction. L'Allemagne d'aujourd'hui connaît un nouveau mouvement favorable à la promotion de la construction en terre qui s'inscrit dans l'idéologie écologique et "environnementaliste" et a ainsi remis au goût du jour la construction en "terre-paille", en pisé, en adobe ou en blocs de terre comprimée, s'associant à la même renaissance qui voyait le jour en France à partir de 1974-75.

Au Danemark et en Scandinavie

La traduction danoise des *Cahiers d'Architecture Rurale* de François Cointeraux par K.H. Seidelin, éditée à Copenhague en 1996, (*Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux*

⁶⁷ - Engelhardt, A., *Der Lehmabau*, Architekten-Verlag, Hannover, 1919, 117 p.

- Jobst, R., *Lehmabauweissen*, Berlin, 1919

- Kuntzel, C., *Lehmbauten*, Berlin, 1919

- Ritgen, O., *Volkswohnungen ind Lehmabau*, Wilhelm Ernst ind Sohn, Berlin, 1920

⁶⁸ Cité par Bardagot, Anne-Monique, dans *L'intelligence de l'Europe et le Développement de l'habitat économique en terre des années 20 à nos jours*, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Ecole d'Architecture de Grenoble, CRATERRE-EAG, Mai 1991, 89 p., pp. 19.

⁶⁹ - Niemeyer, Richard, *Der Lehmabau und seine praktische andwendung*, ökobuch-verlag, Grebenstein, 1946, 158 p., réédité en facsimilé.

- Fauth, Wilhelm, *Der praktische Lehmabau*, Limes Verlag, Wiesbaden, 1946, 130p.

⁷⁰ On estime à 17 000 unités le nombre des réalisations.

Beskrivelse og i afskilligt forandret) a vraisemblablement eu un impact assez important au Danemark. Une étude réalisée en 1959 par Sven Risom⁷¹ évalue à 4 000 maisons qui ont été bâties en pisé, en application des techniques diffusées par Seidelin, jusqu'en 1871, alors que les toutes premières réalisations ont été édifiées vers 1795. Risom lui-même, rapporte avoir dirigé un chantier de 20 maisons construites à la manière de celles de la fin du XVIII^{ème} siècle dans le cadre d'une opération de revalorisation du patrimoine, en 1959.

L'ouvrage de Seidelin a été aussi traduit en Finnois et l'on note l'existence d'une édition de 1798, intitulée *Stamphus* (Fig. 30), renvoyant en introduction à l'édition danoise de 1796. D'autres publications ont été aussi repérées, en 1799, et un fascicule de Andra Tomen, édité en 1807, introduit par un Professeur de Philosophie dénommé Daniel Ferdinand Mallen qui commente une planche dessinée illustrant la technique du coffrage pour le pisé. Il semble également que des auteurs allemands du XIX^{ème} siècle aient été traduits en finnois, comme Friedrich Engel⁷² dont un des ouvrages parut en 1853⁷³ présente plusieurs très belles planches dessinées, très détaillées, sur la manière de concevoir et de mettre en place un coffrage à pisé de forme très sophistiquée permettant de construire les angles des murs gouttereaux et les liaisons en "T" des murs gouttereaux et de refend.

L'information concernant l'influence directe ou indirecte de François Cointeraux en Scandinavie, fait défaut. Néanmoins quelques articles rédigés par des historiens et des chercheurs finlandais ayant développé un intérêt pour l'histoire de l'habitation en terre de leur pays, fournissent quelques indices intéressants. Nous nous référons ici notamment à un article de Ola Ehn, publié en 1963⁷⁴ qui fait état de la réalisation de bâtiments en terre, au début du XIX^{ème} siècle, apparemment en milieu urbain, à Uppsala, dont la conception semble appliquer des solutions constructives économes en bois (grands arcs en façade). La composition de la façade de cette habitation n'est pas sans rappeler l'allure de certains modèles de Cointeraux qui caractérise également d'autres réalisations allemandes de cette même époque. Un architecte du nom de Gustaf Af Sillen aurait été très sensible à la construction en terre et aurait réalisé plusieurs ouvrages en pisé et de ce type, entre 1803 et 1812.

D'autres indications nous sont fournies par une correspondance échangée avec M. Mikael Westermarck⁷⁵, architecte installé à Helsinki ayant développé quelques recherches historiques sur l'emploi du Pisé en Finlande. L'auteur atteste de l'influence de Cointeraux en Finlande, à partir de la traduction allemande de ses écrits, par David Gilly, à laquelle il se réfère (cf. note 62) et confirme le rôle joué par l'édition finnoise de Seidelin, *Stamphus*. L'influence de Seidelin (et donc de Cointeraux) se fait sentir par une évolution qualitative certaine de la construction en terre traditionnelle finlandaise qui semble adopter le pisé en remplacement du colombage hourdé de torchis. Il évoque ensuite un autre ouvrage publié en 1799 que l'on situait précédemment, qui fournit des instructions techniques très utiles pour une mise en pratique du pisé⁷⁶. Les plus vieilles maisons en pisé bâties en Finlande datent du début du XIX^{ème} siècle et ont été édifiées à Strömfors, simultanément à celles construites à Uppsala par Gustaf Af Sillen ; elles sont directement inspirées des instructions données par le livre datant de 1799. Un presbytère datant de cette époque, bâti en pisé avec un revêtement de façade en briques, a été repéré à Jokioinen. De même, à la suite de la destruction de la cité de Pori, en 1801, il était recommandé de la reconstruire en terre. Il semblerait que seuls quelques bâtiments aient été effectivement ainsi reconstruits. Mikael Westermarck rapporte également que plusieurs propriétaires terriens ont construit leurs bâtiments agricoles annexes (étables notamment) en terre, préférant ce matériau à la pierre qui retient davantage l'humidité. De tels bâtiments, datés de 150 ans, ont été repérés sur plusieurs domaines comme les manoirs de Bisgard, Palojärvi et Suitia. Il semblerait également que des écoles aient été construites en terre en milieu rural au cours du XIX^{ème} siècle (exemples repérés à Niinikoski et Iitti ainsi qu'une laiterie). Le patrimoine finlandais bâti en terre demeure néanmoins assez réduit puisque l'inventaire qui a été réalisé relève l'existence d'une centaine d'ouvrages dont beaucoup demeurent néanmoins en bon état.

L'influence de Cointeraux et de ses traducteurs en Europe du Nord semble avoir été notoire au début du XIX^{ème} siècle, bien davantage au Danemark qu'en Finlande. La proximité de l'Allemagne et le mouvement favorable au pisé qui naquit en Schleswig-Holstein (région frontalière) ainsi que la rencontre historique, à trois ans d'écart, entre les traductions de Cointeraux par David Gilly (1796) et par K.H. Seidelin expliquent sans doute cela.

⁷¹ Risom, Sven, 1959, étude non référencée, citée par Jochen Georg Güntzel dans son article sur le patrimoine bâti en terre de Schleswig-Holstein, *Bauen Mit Lehm* n°1, cf. note 55

⁷² Nous n'avons connaissance que de deux titres de Friedrich Engel, publiés plus tardivement : *Kalk-Sand-Pisé-Bau*, Wiegand, Hampel und Parly, Berlin, 1865 et *Die Bau-Ausführung*, Berlin, 1885.

⁷³ Engel, Friedrich, *Anvisning, Att Uppföra, Byggnader af stampadt kalkbruk*, Helsingfors, hos J. Simelii arfvingar, 1853

⁷⁴ Ehn, Ola, *Lerhus i Uppsala*, in *Arsboken Uppland*, 1963, pp. 100-101

⁷⁵ Westermarck, Mikael, *A Resume of the history of the Rammed Earth Construction in Finland*, janvier 1993, correspondance.

⁷⁶ Auteur non identifié, *Underrättelse för almogen att bygga Hus af Ler-bruk*, 1799.

En Suisse

La Suisse a-t-elle accueilli favorablement l'idée de construire en terre et particulièrement en pisé, avant l'époque de grande diffusion européenne des idées et théories de Cointeraux. En effet, un architecte du nom de Alfred Zschokke (1825-1879), à qui la Commission de reconstruction du canton d'Argovie confiait le réaménagement de Fislisbach, sinistrée par des incendies, se mettait, à l'âge de 23 ans, au service de la population de cette localité argovienne. Le pisé est alors valorisé comme un mode construction économique et incombustible, hygiénique, c'est à dire en valorisant les mêmes arguments que François Cointeraux défendait cinquante ans auparavant. Alfred Zschokke a construit sept fermes en pisé à Fislisbach qui ont été répertoriées sur un plan établi en 1850. Il semblerait, d'après des études réalisées par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne que la connaissance de cette technique du pisé soit parvenue en Suisse depuis les régions du Lyonnais et du Bugey, par le chenal du Rhône et de maçons français venus s'installer dans le pays⁷⁷.

L'intérêt des milieux savants suisses pour le pisé est confirmé par la publication, en 1857, d'un opuscule de Louis Raymond expliquant la technique du banchage et de la compression de la terre⁷⁸. Cette publication était en effet réalisée aux frais de la Direction d'Industrie et d'Agriculture de l'Institut national genevois. Ce mémoire est présenté après que l'auteur ait déjà eu l'occasion de lire un rapport sur les bétons moulés et comprimés des frères Coignet et attire l'attention des membres de l'Institut genevois sur le pisé comme "*genre de construction très économique et à la portée de presque tout le monde*". La communication de Louis Raymond se situe dans la préoccupation du mouvement des hygiénistes de l'époque, qui entend développer des constructions plus solides, saines, tout en demeurant économiques, pour les classes pauvres.

L'influence directe de Cointeraux sur ce mémoire serait tardive et il semblerait, aux dires de Louis Raymond, que le pisé est une technique déjà connue des suisses depuis la deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle, même si ses sources d'information sont basées sur le souvenir populaire. Il observe en effet qu'il existe des bâtisses en terre, "*surtout près de Chêne et du côté de Myrin et de Versoix*". Raymond fait implicitement l'hypothèse que ce mode de construction a été introduit en Suisse depuis les régions limitrophes de la France où le pisé est courant dans les départements de l'Ain, du Rhône et de l'Isère. Dissertant plus loin sur "*les origines des constructions en terre chez nous*", il précise en ces termes :

"Il y a quatre-vingt dix ans environ, qu'un ouvrier charpentier de Lyon - dénommé Ronchet - chassé de sa patrie par le manque d'ouvrage, passa le Jura, et vint à Genève pour exercer son état ; il fut employé, en cette qualité, près de Chêne. Comme il était aussi ouvrier piseur, il remarqua la bonté des terres argileuses du sous-sol de toute cette partie de la frontière, touchant le territoire de la République de Genève, pour la construction des maisons. Il proposa à un particulier, qui voulait faire bâtir une ferme, de la lui construire économiquement ; l'offre fut acceptée, et l'ouvrier lyonnais se mit à l'oeuvre et l'exécuta en pisé. - La maison qu'il fit existe encore et est située sur la route de Chêne à Jussy. Elle est très connue sous son nom primitif ; (...) on n'a qu'à demander la maison de terre."

On connaît aussi d'autres réalisations en pisé, en Suisse, dont fait état un récent ouvrage édité par la Société suisse des ingénieurs et des architectes⁷⁹. Il s'agit d'une école, construite en 1843, à Thundorf, Canton de Thurgovie, rénovée en 1991, ainsi qu'une habitation, construite en 1848, à Fislisbach, Canton d'Argovie, dont le premier niveau seul est en pisé et l'étage en structure à colombage. Le modèle architectural de l'école de Thundorf, exception faite de sa tour-horloge (Fig. 31), n'est pas sans rappeler les écoles construites en pisé, dans le Dauphiné, à la même époque ainsi que des bâtiments plus anciens construits en Allemagne dont le style évoque certains modèles de bâtiments en "nouveau pisé" de François Cointeraux.

Revenant aux références de bâtiments que fournit Louis Raymond, on peut dire que le souvenir populaire, confirme de nouveau la filiation avec le savoir-faire régional lyonnais qui était à l'origine de l'ensemble des articles, opuscules et traités modernes sur le pisé, de Georges-Claude Goiffon à Jean-Baptiste Rondelet, en passant par F.C. Boulard et François Cointeraux. Raymond fait d'ailleurs une claire référence à cet héritage en citant Cointeraux qui "*écrivit son ouvrage, sous le titre de : Architecture rurale, dans laquelle on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule*." Cette référence renvoie également en note à un autre architecte suisse, du nom de

⁷⁷ ZSCHOKKE, A., *Anleitung zum Pisé-Bau, Mit Spezieller Rüdfticht auf das Verfahren bei den Bauten im Kanton Aargau*, Gauerländer, Verlags, Haran, 1849. Cf aussi, traduction française réalisée par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, par Werner Heerde, sous l'intitulé *Bâtir en pisé*, 1983.

⁷⁸ Raymond, Louis, *Mémoire Sur La Bâtisse en Terre*, Imprimerie d'Elie Carey, Genève, 1857, 44 p. et 2 planches dessinées.

⁷⁹ *Lehmbau Atlas*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Documentation D 0112, Zürich, Avril 1994, 104 p., pp. 30-37

T. Morisot, qui aurait "*aussi traité des constructions rurales et économiques*". Le mémoire de Louis Raymond reprend d'ailleurs, avec le même enthousiasme, l'ensemble de l'argumentaire en faveur du pisé déjà présenté par ses illustres prédécesseurs, tout en apportant une forme plus scientifique sur l'aspect de l'analyse des terres et ménageant une ouverture sur les "pisé-béton" de François Coignet en fin du texte. L'explication de l'outillage et du mode de mise en oeuvre renvoie aux planches dessinées et aux textes de *l'Art de Bâtir* de Rondelet. L'influence de la littérature française est donc évidente bien qu'elle ait été reçue plus tardivement que dans les autres pays européens.

En Italie

L'emploi du matériau terre en construction, en Italie, remonte aux temps très anciens. Dans son ouvrage, Eugenio Galdieri⁸⁰, consacre un chapitre général à l'histoire de la construction en terre italienne qui rappelle que les établissements de l'antiquité romaine étaient fortifiés par des levées de terre : *l'agger terreus carinarum*. On connaît plusieurs exemples archaïques de systèmes défensifs de ce type, dans les territoires du Lazio et de l'Etrurie méridionale, à Lavinium, Ficana, Pratica, datés du VII^{ème} au VI^{ème} siècle av. J.C. Ces fortifications perduraient jusqu'aux époques romaines récentes (1^{er} siècle av. J.C.) et Varron⁸¹ témoigne que les bâtisseurs des territoires sabins utilisaient le pisé "*en mélange de terre et de gravier aggloméré dans des moules, comme en Espagne et dans le territoire de Tarente.*" D'autres auteurs illustres des époques romaines ont évoqué l'utilisation constructive de la terre pour les ouvrages de défense ou l'habitat⁸², en Italie ou dans d'autres territoires du pourtour méditerranéen (Espagne, Gaule, Afrique du Nord).

Même s'il fut connu des romains, sous l'appellation d'*opus formarium* et d'*opus africanum*, le pisé - terme dérivé du latin populaire *pi(n)sare* ou *pisare* qui signifie massiver - ne fut pas beaucoup utilisé sur la péninsule qui utilisait davantage une antique tradition de la brique crue (*lateres*) héritée des influences de la Grande Grèce (V^{ème} siècle av. J.C.). Ce matériau est d'ailleurs toujours dominant dans le patrimoine d'habitat rural en terre existant, dans les Abruzzes, les Marches, dans les Pouilles, en Lucanie et en Calabre ainsi que dans les *Campidani* de Sardaigne⁸³.

On retrouve quelques traces d'utilisation du pisé en Italie, au Moyen Âge, évoquées par un ouvrage sur l'histoire de la maison rurale de B. Crova⁸⁴ : "*le abitazioni si ridussero a rozzi tuguri costituiti del legname ... ovvero da paglia et terra battuta, costituendo i muri che presero il nome di pisé (...).*" Des influences étrangères, à la fois orientales et occidentales, contribuèrent à introduire leurs modes de construction en terre traditionnels, entre le début du XVI^{ème} et la première moitié du XVIII^{ème} siècles. Ce fut notamment le cas d'une population chrétienne émigrant de Yougoslavie, Albanie et Grèce, chassée par les invasions ottomanes dans les Balkans et qui se réfugia dans les Marches, les Pouilles et en Calabre⁸⁵. Ce fut également le cas dans le Piémont méridional où, au début du XVII^{ème} siècle, des Sarrasins venus d'Espagne se seraient installés dans la région de Scrivia⁸⁶. Ces populations bâtissent leur habitat en terre avec des techniques qui ne sont pas méconnues des italiens mais qui ne les réservaient plus alors qu'à des ouvrages mineurs.

Le pisé, en Italie, ne peut être observé que sur l'habitat rural de deux régions, principalement. D'une part dans le Piémont méridional et notamment dans l'aire dénommée "Frascheta" qui correspond à la partie sud de la province de Alessandria (villages de San Giuliano Nuovo, San Giuliano Vecchio et Mandragne, p.e.), également dans la Plaine de Marengo et d'autre part sur quelques territoires de Toscane (aires de la *Valdechiana* et de la *Cortona*)⁸⁷. La typologie de l'habitat en pisé de ces régions, soit groupé en villages (Piémont), soit plus dispersé (Toscane), restitue des modèles

⁸⁰ Galdieri, Eugenio, *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*, Editori Laterza, Rome-Bari, 1982, 305 p. ; Chapitre VIII, *una piccola Italia di argilla*, pp. 191-200

⁸¹ Varron, *Res Rusticae*, I, 14, 40, traduction Les Belles Lettres, 1978.

⁸² Vitruve, *De Architectura*, II, 3, 8, 9 ; Plin l'Ancien, *Naturalis Historia*, XXXV, 47, 48 ; Tacite, *Historia*, I, 86 ; Columelle, *De Re Rustica*, X, 1, 2 et XI, 3, 2

⁸³ Baldacci, Osvaldo, Carte de la diffusion de la brique crue en Italie, *L'ambiente geografico de la casa in terra in Italia*, in Revue de géographie italienne, Vol. LXV, Florence, 1958 ; du même auteur, *La Casa Rurale in Sardegna*, Florence, CNR, 1952.

⁸⁴ Crova, B., *Case rurali attraverso i secoli*, Difesa Sociale, XIII, n°9, 499 p., Rome, 1934, cité par Eugenio Galdieri.

⁸⁵ Galdieri, Eugenio, *Etat et futur des Bâtiments Italiens en Terre : les cas du Piémont et de la Sardaigne*, in Le Patrimoine Européen en Terre et sa Réhabilitation, MELATT, ENTPE, Université Jean Moulin Lyon III, Mars 1987, 583 p., pp. 258-259

⁸⁶ Barozzi, Pietro, Etude, *Le trunere della Frascheta nella piana di Alessandria*, Revue de géographie italienne, cité par Mauro Bertagnin en note 27 de l'édition critique du manuel de Del Rosso (1793), voir par la suite.

⁸⁷ Bertagnin, Mauro, *L'architecture de terre en Italie : connaissance et réhabilitation d'un patrimoine typologique et technologique méconnu*, in le Patrimoine Européen Construit en Terre et sa Réhabilitation, op. cit., pp. 219-253 ; et, du même auteur, *De Cointeraux à Del Rosso, ...*, in 7a Conferencia internacional sobre o estudio e conservação de Arquitectura de Terra, Terra 93, DGEMN du Portugal, octobre 1993, 659 p., pp.153-158

très simples de maisons bloc en hauteur très compactes (Plaine de Marengo, Fig. 32) ou de maisons bloc à terre en longueur (Toscane), qui correspondent à l'habitat des populations rurales les plus pauvres (journaliers). On ne trouve pas de témoignage d'une architecture en pisé très élaborée qui aurait adopté les éléments de composition typés de la stylistique du XVIII^{ème} et du début du XIX^{ème} siècle, comme c'est le cas en France, en Allemagne (maison Boeckmann de Meldorf, 1795, p.e.) ou même en Suisse (école de Thundorf, 1843, p.e.). Il est vrai que nous sommes là en présence d'une architecture rurale pauvre et non bourgeoise.

C'est donc sur ce legs historique et culturel d'une pratique constructive en terre trouvant ses origines dans l'antiquité et qui s'est maintenue jusqu'au XVIII^{ème} siècle, que se situe, en Italie, l'introduction de la pensée théorique et technique de François Cointeraux. C'est en effet avec l'adaptation critique de ses *Cahiers d'Ecole d'Architecture Rurale*, par Giuseppe Del Rosso, qui publie en 1793, son opuscule intitulé "*Dell'economica costruzione delle case di terra*"⁸⁸ que s'opère cette introduction (Fig. 33 et 34). Del Rosso assume donc, en 1793, un rôle stratégique pour la diffusion en Italie, de la pensée de Cointeraux, comme le font, simultanément, Henry Holland en Angleterre et David Gilly en Allemagne. La préoccupation de l'auteur est claire et comparable à celle de ses confrères architectes européens, comme lui membres de sociétés savantes et d'académies⁸⁹. Il traduit et adapte Cointeraux dans le souci d'être utile à l'amélioration des conditions de vie rurales, et dédie son opuscule "*aux propriétaires industriels et aux habitants de la Région de Toscane*". Del Rosso se situe donc directement dans le lignage de la pensée de l'Europe encyclopédiste et illuministe de l'époque qui, de Georges-Claude Goiffon (1772) à Cointeraux (1791), et prolongeant son impact jusqu'à Jean-Baptiste Rondelet (1812), portait une attention fondamentale à l'amélioration de l'habitat rural et voyait dans l'art de bâtir en pisé, une solution à même de garantir la salubrité, la durabilité, l'incombustibilité de cet habitat, tout en faisant appel à l'utilisation de moyens économiques. Del Rosso reprend finalement à son compte le concept original de Cointeraux, celui "*d'Agritecture*", science qui unit l'Agriculture et l'Architecture. Nous sommes là aussi dans la perspective d'une construction rurale élevée au rang de modèle d'architecture simple et naturellement beau, tel que le concevait Laugier dans son *Essai sur l'Architecture* (1753).

Le traité de Del Rosso est particulièrement intéressant car, au-delà de la seule diffusion de la pensée théorique et technique de Cointeraux, il fournit des éléments de première importance sur la typologie de l'architecture rurale en pisé de Toscane. En effet, l'édition florentine de Bouchard restituée en annexe une correspondance de l'éditeur avec le Docteur Leonardo De' Vegni⁹⁰ qui rapporte l'origine de certaines maisons rustiques de Toscane, sur les terroirs de la *Valdechiana*, dénommées "*case rustiche alla Francese*"⁹¹.

Evaluer l'impact de la diffusion de la pensée de Cointeraux, via Del Rosso et Leopardo De'Vegni, en Italie, et particulièrement en Toscane et dans le Piémont méridional où demeure le pisé, demeure difficile. L'habitat rural en pisé de ces régions est modeste et constitue en tout cas une trace de l'écho de cette pensée utile qui est devenue, à l'évidence, un savoir-faire de constructeurs régionaux se perpétuant jusqu'aux premières époques de notre siècle - des bâtiments répertoriés dans la région de la *Cortona*, en Toscane, sont datés des années 1915-1920.

Mais, les répercussions de cette pensée théorique et technique, en Italie, n'ont pas pris, semble-t-il, l'ampleur que l'on peut observer en Allemagne où le mouvement favorable au pisé était appuyé par une production littéraire plus abondante et continue, depuis la traduction des Cahiers de Cointeraux par Gilly (1793) et jusqu'aux époques contemporaines de l'après Seconde Guerre Mondiale (Fauth et Niemeyer, en 1946). Il en allait de même pour la France. Malgré tout, en Italie, le Traité de Del Rosso n'en demeure pas moins une référence quant à l'étude de l'expansion européenne de la pensée de François Cointeraux.

Péninsule ibérique

L'état actuel de nos recherches ne permet pas d'étudier l'architecture en pisé espagnole (Catalogne, Andalousie) ou portugaise (Alentejo), à la lumière d'une influence supposée des écrits de Cointeraux, d'ailleurs tout-à-fait hasardeuse. Dans la péninsule ibérique, cet art de bâtir en pisé doit être plutôt rattaché aux influences culturelles antiques issues des

⁸⁸ Del Rosso, Giuseppe, *Dell'economica costruzione delle case di terra*, Presso J.A. Bouchard, Florence, 1793, 75 p. et 4 planches tirées de Cointeraux. Cet opuscule vient d'être récemment réédité avec une introduction critique de Bertagnin, Mauro, *Il Pisé e la Regola Manualistica Settecentesca per l'Architettura in Terra*, Riedizione critica del manuale di Giuseppe Del Rosso, EdilStampa, Roma, 1993, 107 p. pp. 11-27. Nos références sont principalement prises dans cet ouvrage.

⁸⁹ Del Rosso est membre de la *R. Accademia De' Georgofili* de Florence et Holland membre du *Board of Agriculture* de Londres.

⁹⁰ De' Vegni, Leonardo, Dottor, Lettre à J.A. Bouchard du 26 juillet 1793, Rome, op. cit., note 88, pp. 46-74

⁹¹ p. 48 du traité de Del Rosso, op. cit, note 86

pays du Maghreb et particulièrement aux pratiques constructives puniques ⁹² tout d'abord et, plus tard, au Moyen Âge aux pratiques des Sarrasins qui excellaient dans la construction de systèmes de défense puis, sous les Grands Califats, d'une architecture monumentale et palatiale (l'Alhambra de Grenade en est l'un des plus beaux exemples). L'origine du terme *tapial* - ou *tabia* - est bien claire est "*constitue la transcription hispanique directe du mot tâbiya lui même dérivé du terme africain toub* ⁹³ ", issu de *ottob* (Egypte). Le terme portugais *taipa* est issu de la même origine.

L'édition récente, en catalan, d'un ouvrage sur le pisé ⁹⁴ confirme les origines historiques précédemment évoquées, la perdurance de ce mode de construction aux époques d'occupation romaine (site de Empurias, p.e.) et les influences postérieures des époques des Califats maures. Cet ouvrage permet néanmoins de relever l'existence d'un traité de maçonnerie ⁹⁵, édité en 1827, de Juan de Villanueva, dont une partie est consacrée à la construction en terre et décrit la technique du pisé. Deux illustrations (planches 25 et 27) restituent l'outillage nécessaire au pisé (banches et pilon) et illustrent la mise en oeuvre d'un mur qui traduit la technique très typée de Catalogne, où les banchées de pisé sont parfois harpées d'une maçonnerie de briques (Fig. 35). Le coffrage s'apparente assez bien à celui que l'on peut observer de nos jours encore, au Maroc. Les auteurs catalans font aussi référence à un autre ouvrage, publié en 1873-1874, de Leandro Serrallach, qui aurait fourni des instructions techniques sur le pisé⁹⁶.

Seul, l'ouvrage de Villanueva est contemporain des publications tardives de Cointeraux et du *Traité de l'Art de Bâtir* de Rondelet mais aucune référence à ces classiques du genre, ne peut être confirmée.

5 - Une pensée rayonnante dans une époque de grande mutation.

La portée universelle des écrits de François Cointeraux qui établissent les bases essentielles d'un savoir théorique sur la construction en "nouveau pisé", résulte d'un ensemble de conditions historiques favorables. D'une part, l'existence d'une culture constructive vivante et en pleine maturité, dans les régions du Lyonnais, du Val de Saône, du Forez et du Dauphiné, culture de référence dont Cointeraux témoigne. D'autre part, des tentatives antérieures de constitution d'un savoir et de valorisation théorique, par des auteurs s'établissant eux-aussi comme des références dans leur époque : G.C. Goiffon et F.C. Boulard. Une époque qui couvre un siècle, à la charnière du XVIII^{ème} et du XIX^{ème} siècles, de 1750 à 1850, traversée par la pensée illuministe, des physiocrates et encyclopédistes dont quelques unes des préoccupations centrales tournées vers le progrès des nations, favorisent la naissance de l'agriculture moderne, base du progrès économique et social, et revalorisent la construction rurale comme archétype de l'architecture civile et publique, depuis l'antiquité. L'expansion de cette pensée et de ses applications concrètes, s'appuie sur un réseau d'académies, de sociétés savantes d'agriculture, belles lettres et arts, qui établit ses ramifications dans l'ensemble des capitales européennes. La constitution, rapide, de la science moderne de la construction par une théorisation de l'ensemble de "l'Art de Bâtir" génère une chaîne quasiment ininterrompue d'opuscules et de traités en tout genre, à l'usage des architectes, ingénieurs et entrepreneurs.

Le savoir bâtir en "nouveau pisé" connaît sa grande période d'expansion historique, à la dimension internationale, grâce à une poignée d'hommes attentifs aux nouvelles idées et découvertes qui répondent à leur idéal intellectuel de progrès. Henry Holland et David Gilly vont à leur tour susciter d'autres vocations et les auteurs qui se succèdent, en Angleterre, aux Etats-Unis d'Amérique, en Allemagne, amplifient cette expansion. L'écho international de ses écrits aurait sans doute surpris Cointeraux lui-même qui, tout en étant persuadé "*qu'il rendrait de plus en plus importants services*"⁹⁷ "et que l'on se rendrait un jour "*à la vérité de l'utilité de ses travaux*"⁹⁸, se plaignait qu'une société d'artistes viennois réalisât une "*contrefaçon*" de son modèle de maison incombustible et que ces réalisations plagiaires fussent basées sur la diffusion de "*copies maladroitement calquées*"⁹⁹ " ou de l'achat d'un seul exemplaire de ses cahiers servant à ces

⁹² Attesté par les fouilles du site de la colline de Byrsa sur le site de Carthage et par des écrits anciens, Varron et Pline l'Ancien, op. cit., cf. note 80

⁹³ Bazzana, André, *La construction en terre dans Al-Andalus : le Tabiya*, in 7a Conferencia internacional sobre o estudio e conservação de arquitectura de terra, Terra 93, DGEMN du Portugal, octobre 1993, 659 p., pp. 76-82

⁹⁴ Font, Fermin et Hidalgo i Chulio, Pere, *El Tapial, una tècnica constructiva Mil. Lenària*, 1991, 2^{ème} édition, 172 p., à compte d'auteurs

⁹⁵ De Villanueva, Juan, *El Arte de la Albanileria*, Madrid, 1827

⁹⁶ Serrallach, Leandro, *Construccion y manipulacion de materiales*, 1873-74

⁹⁷ Cointeraux, François, op. cit., note 24

⁹⁸ Cointeraux, François, op. cit., note 27

⁹⁹ Cointeraux, François, *Paris tel qu'il était à son origine, Paris tel qu'il est aujourd'hui*, Paris, an VII

réalisations maladroites¹⁰⁰. Il y a là un paradoxe dans l'attitude de Cointeraux mais beaucoup des auteurs qui se sont inspirés de son travail, à commencer par ses illustres ou moins illustres traducteurs anglais (Henry Holland), allemand (David Gilly et Christian Ludwig Seebass), italien (Giuseppe Del Rosso), danois (K.H. Seidelin), ainsi que Jean-Baptiste Rondelet, lui ont rendu systématiquement hommage. Les idées échappent souvent aux hommes qui les conçoivent et il est bien que ce soit ainsi quand elles sont destinées à servir une cause universelle, celle de l'amélioration du cadre bâti des plus démunis.

Cette période historique de constitution du savoir sur le pisé et d'apogée de sa valorisation pratique, au cours de la première moitié du XIX^{ème} siècle, correspond aussi aux grandes mutations économiques déjà tournées vers la Révolution Industrielle et le développement des matériaux de construction modernes. L'histoire du béton est en marche dès la fin du XVIII^{ème} siècle avec la mise au point d'un conglomérat de chaux vive, argile, sable et scories ferreuses, par John Smeaton, en 1774, et l'utilisation des premiers bétons maigres de même type, en Angleterre. Puis, ce sont les restrictions économiques des années suivant la Révolution Française de 1789, qui conduiront quelques inventeurs, dont Henri Vicat, industriel grenoblois, vers 1800, à réaliser la synthèse du ciment hydraulique. De même, Joseph Aspidin, à partir de 1824, pratique ses premières expériences de pierres reconstituées avec le moulage d'éléments en ciment Portland. En France, François Coignet (1814-1888), va développer son "pisé-béton" qu'il utilisera comme un "bâtitseur lyonnais" mais remplaçant la terre par un mortier de cendres de houille composé de chaux, cendres et scories¹⁰¹. Ces inventions vont inaugurer une période de nouveaux brevets qui verra se succéder "bétons agglomérés", "bétons économiques", "pierres factices" et autres appellations pour des matériaux préparant l'avènement de la technologie du béton armé. Ces nouveaux bétons, utilisent, dans leur première époque, le même outillage que le pisé classique ou que le "nouveau pisé" et le compactage manuel (pisé-béton de Coignet et béton ou pisé de machefer). Nous sommes donc à la charnière d'une époque décisive dans l'évolution des matériaux, des techniques et des cultures constructives, au cours de laquelle, l'apport théorique initial de Cointeraux et de ses successeurs immédiats, ne doit pas être négligé en tant que fondement de ces nouvelles découvertes. Les nouveaux bétons qui parviennent rapidement à maturité technique, dès le milieu du XIX^{ème}, vont progressivement exclure les matériaux de construction traditionnels et les cultures constructives de la maçonnerie classique, exclusion rapide dès lors que se répand la technologie du béton armé.

Notre conclusion veut aussi valoriser les dimensions pédagogiques de François Cointeraux, qui voulait transmettre ses idées et découvertes à des élèves. Ce "Professeur d'Ecole d'Architecture Rurale" qui eut tant de difficultés à faire reconnaître ses enseignements par les autorités de son temps, déménageant plusieurs fois son école et ses ateliers, finissait par trouver refuge dans l'écriture. Une production abondante qui étonne encore. Ces écrits seront le vecteur efficace de la transmission de ses idées chez des lecteurs et disciples acquis à la même cause. L'Ecole d'Architecture Rurale, spécifiquement dévolue à l'enseignement de la construction en pisé, a vu le jour en Allemagne, sur un terrain idéologique qui générerait la plus grande tragédie de notre histoire moderne mais elle répondait en même temps à l'impératif de développement de matériaux et de solutions constructives économiques dont la véritable utilité s'affirmait avec la reconstruction de l'après Seconde Guerre Mondiale. C'est aussi sur le terrain de la Crise de l'Energie du début des années 70 et de la pénurie dramatique de logements dans les pays en développement que se sont fondées d'autres écoles de construction en Terre, en France, et désormais dans d'autres pays¹⁰². Ces écoles privilégieront la liaison entre un savoir académique et un savoir-faire pratique en atelier de construction ainsi que les chantiers de démonstration sur le terrain. Le modèle de pensée pédagogique de François Cointeraux trouve peut-être aujourd'hui sa pleine répercussion et son plein épanouissement.

¹⁰⁰ Cointeraux, François, *Architecture périodique ; ou Notice des travaux et approvisionnement que chacun peut faire ... pour améliorer ses fonds*, Paris, aux bureaux de l'Ecole d'architecture rurale, 1792, 82 p.

¹⁰¹ Simonnet, Cyrille, *Le Béton Coignet, stratégie commerciale et déconvenue architecturale*, in *Les Cahiers de la Recherche Architecturale*, n°29, Culture Constructive, Editions Parenthèses, 1992, 137 p., pp. 15-32

¹⁰² Une école de construction en terre pour maîtres-maçons et petits entrepreneurs a été créée au Portugal, à Serpa, en 1993, dans le cadre d'un programme gouvernemental d'enseignement sur les arts et traditions populaires. Un Pôle d'Enseignement de la Construction verra prochainement le jour, en 1998, sur la Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau, près de Lyon, qui associe plusieurs écoles d'architecture, d'ingénieurs et d'arts sur cette perspective du développement d'un enseignement par le chantier. Une Chaire Unesco "Architectures de Terre, Cultures Constructives et Développement Durable", dont la principale vocation est de faciliter l'installation d'enseignements spécialisés sur la construction en terre pour les établissements humains, l'habitat économique et la conservation des patrimoines architecturaux, dans les universités et centres de formation technique des pays en développement, sera lancée en 1998. Ce projet axé sur le transfert situé des savoirs et savoir-faire sera piloté par l'Ecole d'Architecture de Grenoble et le CRATerre comme centre d'excellence.

Bibliographie sélective

(Cette sélection bibliographique vient compléter les nombreuses références fournies en notes de texte)

- Baldacci 1958:** BALDACCI, Osvaldo - *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*, Rivista Geografica Italiana, LXV, 1958.
- Barber 1805:** BARBER, William - *Farm Buildings*, 1805.
- Bertagnin 1993:** BERTAGNIN, Mauro - *Il Pisé e la Regola Manualistica Settecentesca per l'Architettura in Terra*, Riedizione critica del manuale di Giuseppe Del Rosso, EdilStampa, Roma, 1993, 107 p. pp. 11-27.
- Cellauro et al 1983:** UPAL, CNRS, A-VENIR, UPAG : CELLAURO L., RICHAUD, G., BERTIN, D., CLEMENÇON, A.S., GUILLAUD, H., DU BOISBERRANGER, F., DOAT, P., DE LOITIÈRE, F. - *Architecture de terre. François Cointeraux 1740-1830*, Rapport 3ème phase. AGRA-UPAG, Grenoble, 1983, France, 620 p.
- Cody 1985:** CODY, Jeffrey William - *Earthen Wall Construction in the Eastern United States*, Master of Arts, Graduate School of Cornwell University, Juin 1985, 460 p.
- Cody 1990:** CODY, Jeffrey, William - *Earthen walls from France and England for north american farmers, 1806-1870*, in Adobe 90 preprints, Ed. Getty Conservation Institute, Los Angeles, Etats-Unis, 1990.
- Cointeraux 1790:** COINTERAUX, François - *École d'architecture rurale et économique*, Paris, Imprimerie N.H. Nyon, 1790, 2 p.
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule*, Paris, 1791.
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; deuxième cahier dans lequel on traite de l'art du pisé ..., des qualités des terres propres au pisé ..., des détails de la mise en oeuvre, du prix de la terre*, 76 p. illus., Paris, 1791
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils ..., 68 p.*, Paris, 1791.
- Cointeraux 1806:** COINTERAUX, François - *Du nouveau pisé, ou de l'art de faire le pisé par appareil*, Paris, 1806, 19 p.
- Cointeraux 1806:** COINTERAUX, François - *Description curieuse et instructive des modèles en pisé et autres, que l'on voit dans l'atelier du Sieur Cointeraux*, 1806, 20 p.
- Conrad 1840:** CONRAD, Ernst - *Veder den Pisé-Bau*, Kretschmar, Chemnitz, 1840.
- Dassler 1990:** DASSLER, Lee - *Nineteenth Century New York State Earthen Homes : An Investigation Of Their Material Composition*, in Adobe 90 Preprints, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 430-437.
- Del Rosso 1793:** DEL ROSSO, Giuseppe - *Dell'economica costruzione delle case di terra*, Presso J.A. Bouchard, Florence, 1793, 75 p. et 4 planches tirées de Cointeraux.
- Delorme 1745:** DELORME, G.M. - *Mémoire pour la construction des murs en terre*, lu le 17 mars 1745 à Amiens, à l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon.
- De Villanueva 1827:** DE VILLANUEVA, Juan - *El Arte de la Albañileria*, édition en facsimile, Madrid, 1827.
- Diderot et D'Alambert 1771:** DIDEROT et D'ALEMBERT - *Pisay, pisey, pisé*, article publié en supplément au volume 4 de l'Encyclopédie, pp. 384-385 de l'édition de 1771, Paris.
- Doat et al 1985:** AGRA - CRATerre : DOAT, P., GUILLAUD, H., ROLLET, P., HOUBEN, H. - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé : état du savoir-faire "pisé" français et étranger*. EAG, AGRA, MUL/DAU/SRA, Grenoble, 1985, France, 388 p.
- Estienne et Liébault 1763:** ESTIENNE, Charles, LIÉBAULT, Jean - *La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne, la manière de les entretenir ou de les multiplier*, datée de 1763, en deux tomes ; tome 1, 664 p. et tome 2, 677 p.
- Faust 1839:** FAUST, B.C. - *Der Lehmsteinbau*., Buckeburg, 1839.
- Fauth 1948:** FAUTH, W. - *Der praktische Lehm bau*, Singen-Hohentwiel, Weber, 1948.
- Font et Hidalgo 1991:** FONT, Firmín et HIDALGO, Pere - *El Tapial, una tècnica constructiva mil·lenària*, édition à compte d'auteur, 1991, 172 p.
- Gilly 1797:** GILLY, David - *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Friedrich Vieweg dem älteren, Berlin, 1797.
- Gilly 1811:** GILLY, David, (réédition de l'ouvrage précédent) - *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Rengerschen Buchhandlung, Halle, 1811.
- Gilly 1818:** GILLY, David - *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Friedrich Vieweg, Braunschweig, 1818.
- Gilman 1839:** GILMAN, E. - *Economical Builder : A Treatise on Tapia and Pisé Walls*, 1839.
- Goiffon 1772:** GOIFFON, Georges-Claude - *L'art du maçon piseur*, Librairie Le Jai, Paris, 1772.

- Guillaud et al 1984** : AGRA - CRATERre, GUILLAUD, Hubert, HENRY, Nicole et ADRA, Bardagot, Anne-Monique, Sabatier, Nathalie - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé*. DAU/SRA. Grenoble, Août 1984, 361 p.
- Güntzel 1985**: GÜNTZEL, Jochen Georg - *Historische Lehmbauten in Niederschsen, Hambourg und Bremen*, pp. 57-69, in Revue *Bauen Mit Lehm*, n°2, 1985, 78 p.
- Güntzel 1985**: GÜNTZEL, Jochen Georg - *Historische Lehmbauten in Nordrhein-Waestfalen*, pp. 70-76, in Revue *Bauen Mit Lehm*, n°3, 1985, 80 p.
- Güntzel 1986**: GÜNTZEL, Jochen Georg - *Historische Lehmbauten in Nordrhein-Waestfalen*, Teil 2, pp. 54-66, in Revue *Bauen Mit Lehm*, n°4, 1986, 78 p.
- Güntzel 1987**: GÜNTZEL, Jochen Georg - *Zur Geschichte des Lehmbaus in Hessen*, pp. 52-59, in Revue *Bauen Mit Lehm*, n° 6, 1987, 79 p.
- Güntzel 1988**: GÜNTZEL, Jochen Georg, in - *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland*, Staufen : ökobuch-Verlag, 1988.
- Güntzel 1990**: GÜNTZEL, Jochen Georg - *On the History of Clay Buildings In Germany*, in Adobe 90 Preprints, Ed. Getty Conservation Institute, Los Angeles, Etats-Unis, 1990.
- Johnson 1806**: JOHNSON, Stephen, W. - *Rural Economy*, 1806.
- Lewis 1977** : LEWIS, Miles - *Victorian Primitive*, Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, 1977, 87 p.
- Ludwig Seebass 1803**: LUDWIG SEEBASS, Christian - *Cointereaux, François, Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang : oder vollst. u. Fassl. Beschreibung d. Verfahrens, aus blosser gestampfer Erde, ohne weitere Zuthat, Gebäude u. Mauerwerk von aller Art wohlfeil, dauerhaft, feuerfest u. sicher gegen Einbruch aufzuführen/aus dem französischen Original der Cointereaux*, Leipzig, 1803, 195 p. Une réédition récente, en facsimile a été produite, toujours à Leipzig, à l'initiative de Wolfgang Dehmel : François Cointereaux, "Die Pisé-Baukunst ; Das Klassische Buch über die Kunst des Lehmbaue, ZA Reprint, Leipzig, 1989, 206 p.
- Middleton 1953**: MIDDLETON, G.F. - *Build your house of earth*, Angus and Robertson, 1953, réédité par Compendium Pty Ltd, Melbourne 1975.
- Nicholson 1807**: NICHOLSON - *Agricultural Dictionary*, 1807.
- Papworth 1818**: PAPWORTH, J.B. - *Rural Residences* 1818.
- Pollack et Richter 1952**: POLLACK, E., RICHTER, E. - *Technik des Lehmbaues*, éditions Verlag Technik, Berlin, 1952.
- Raymond 1857**: RAYMOND, Louis - *Mémoire Sur La Bâtisse en Terre*, Imprimerie d'Elie Carey, Genève, 1857, 44 p. et 2 planches dessinées.
- Rees 1817**: REES, Abraham - *Farmer's Dictionary*, 1810-1817.
- Rees 1824**: REES, Abraham - *Cyclopaedia or Universal Dictionary for Science and Literature*, 1824.
- Rozier 1786** : ROZIER, L'ABBÉ - *Dictionnaire d'Agriculture*, 1786.
- Rozier 1796** : ROZIER, L'ABBÉ - *Cours complet d'agriculture théorique et pratique*, 1796.
- Seidelin 1796**: SEIDELIN, K.H. - *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointereaux Beskrivelse og i abskilligt forandret*, 1796, Kopenhagen.
- William-Ellis 1919**: WILLIAM-ELLIS, C. - *Cottage Building in Cob, Pisé, Chalk and Clay*, éditions Country Life, 1919.
- William-Ellis 1947**: WILLIAM-ELLIS, C., and Eastwick-Field, J. and E. - *Building in Cob, Pisé and Stabilised Earth*, éditions Country Life, 1947.
- Wimpf 1841**: WIMPF, Jacob - *Der Pisé-Bau*, Heilbrann, 1841, 60 p.

Introduction à l'architecture de terre dans le monde

(Cet article constitue la première partie d'un ouvrage sur « Les architectures de terre au Maroc » que l'on a co-écrit avec Selma Zerhouni, Ed. ACR, Paris Courbevoie, 2001)

1. Les grandes constructions de l'architecture de terre

1.1. Introduction à l'histoire des cultures constructives en terre

La terre fut le matériau d'élection de l'homme dès les époques préhistoriques alors souvent associé au bois et aux végétaux. Les fouilles archéologiques menées sur les territoires qui ont donné naissance aux grandes civilisations de l'Antiquité, les nombreuses études sur les architectures vernaculaires du monde, attestent de l'emploi privilégié de ce matériau pour la construction d'établissements humains de taille variée, jusqu'à l'édification des villes.

L'emploi de la terre en construction a été développé dans les principaux foyers connus de civilisation : dans les plaines du Tigre et de l'Euphrate, en Mésopotamie ; en Égypte, le long du Nil, du Delta à la Basse Nubie ; au Pakistan (Baloutchistan), le long des rives de l'Indus et de la Hakra ; en Chine, sur Les plateaux dominant le Fleuve Jaune (Huang). Mais aussi en Amérique latine, sur le littoral désertique de l'Océan Pacifique drainé par les *rios* andins, et en Amérique centrale. Et bien sûr en Afrique, continent fondateur de l'histoire de l'humanité. Simultanément ou à des époques successives, les régions fertiles propices à l'installation des communautés de chasseurs collecteurs puis au développement de la révolution agricole du Néolithique, invitaient les hommes à bâtir leurs premiers abris sédentaires, en terre. Les sols d'alluvions sableuses et argileuses des plaines fluviales, mêlés à la paille des céréales cultivées, fournissent alors le premier matériau de construction solide et durable : la brique de terre crue séchée au soleil.

Quel que fut l'isolement de ces différentes civilisations antiques ou les contacts qu'elles aient pu entretenir, l'art de bâtir en terre s'est rapidement épanoui avec l'emploi bientôt généralisé de la brique crue. Ces petits éléments étaient d'abord façonnés à la main, en forme de boules, puis en cônes, en briques plano convexes précédant la brique moulée, parallélépipédique ou carrée. Ce long processus d'évolution de la brique prend naissance dès le VIII^{ème} millénaire au Proche-Orient, à l'époque de la culture natoufienne de Jéricho-Munata. L'architecture d'habitat est d'abord conçue en bois et en terre, puis en pains de terre crue empilés, par suite moulés dans des formes en roseaux, en bois, et bâtis au mortier de terre argileuse. Cette culture de la brique crue, dotée d'excellentes performances structurales peu à peu maîtrisées, allait vite permettre de construire des édifices plus massifs, temples et palais qui préfigurent archéologiquement ce qu'Olivier Aurenche a nommé les « signes » de la ville¹. Cela se passait au Proche-Orient, dès le IV^{ème} millénaire av. J.C. L'archéologie atteste de ce phénomène d'urbanisation et de sa reproduction, en décalage dans le temps, à l'échelle de vastes régions, puis de sous-continent à sous-continent ou par le chenal d'une colonisation de territoires éloignés des sites fondateurs², au gré de plus amples migrations des peuples mus par la recherche de sites favorables à leur développement. Ces relations culturelles entre l'espace méditerranéen oriental (Jericho, Mureybet) et l'espace mésopotamien du Proche-Orient, ou avec les territoires de l'Arc Taurus-Zagros (vers l'Iran et l'Irak), ou encore entre l'Anatolie (Çatal Hüyük) et les rivages de la Mer Égée (Sesclio, Dimini), base de la colonisation des Balkans, qui se développaient entre la IV^{ème} et le III^{ème} millénaire av. J.C., peuvent être mesurées par ce qui apparaît être un transfert des cultures constructives et des types architecturaux, de région à région. L'expansion de la brique de terre crue, au Proche-Orient, peut être aussi comparée à la diffusion en Europe, de la technique de l'ossature bois et du hourdage en torchis sur clayonnage, avec le rayonnement du faciès culturel danubien (céramique rubanée), entre le V^{ème} et le IV^{ème} millénaire av. J.C., fondateur des grands principes de l'architecture de terre et de bois qui perdureront jusqu'au Moyen-Age, en Europe centrale et septentrionale. La transmission d'autres cultures constructives plus complexes, comme celles de l'arc, de la voûte et de la coupole en briques de terre est plus difficile à analyser car leurs origines sont encore mal situées. Plusieurs hypothèses penchent en faveur de la Mésopotamie, de la Syrie, de l'Égypte ou encore de l'Afghanistan, comme l'évoque Roland Besenval dans sa recherche intitulée « Technologie de la voûte dans l'Orient

¹ Aurenche, Olivier, « Du village à la ville », in le Grand Atlas de l'Archéologie, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 168-169.

² Margueron, Jean-Claude, « Mari ou la "naissance" d'une ville neuve », in Revue Autrement, « Cités disparues. Découvreurs et archéologues au Proche-Orient », n° 55, septembre 1991, 237 p., pp. 133-142.

ancien »³. On s'interroge toujours sur la filiation possible des fermes fortifiées yéménites et d'Arabie Saoudite (Najran), ou encore d'Afghanistan, et des ksour et kasbas du Maroc, même si les matériaux varient (tantôt la brique crue, le pisé ou la bauge). Par contre, on connaît mieux les logiques de diffusion des savoirs constructifs et des modèles architecturaux dans l'ensemble de la région soudano-sahélienne, dans le « delta intérieur » (Sahil) du Niger, associées aux échanges économiques et culturels entre les pays méditerranéens et les royaumes africains, par la voie des caravanes, puis par l'expansion de l'Islam et de la construction des mosquées qui amenaient les grandes mutations de l'architecture et de la ville africaine. Le passage de la brique crue piriforme à la brique parallélépipédique est tributaire de ces logiques à la fois économiques et culturelles. L'emploi encore récent de briques coniques «*tubali*», au nord du Nigeria, confirme une forte résistance de la culture constructive Haoussa à l'assimilation d'autres modèles culturels ingérants. Dans cette même région, les arcs en terre armée de bois d'«*azara*» sont uniques au monde, même si l'on repère des savoir-faire similaires comme la technologie du «*strut*» (élément en terre-paille armé de bois formant une portion d'arc) dans l'Orient ancien, jusqu'aux périodes parthes et jusqu'en Iran.

En Europe, à une période plus récente, on situe bien le rôle joué par des auteurs français de l'époque des Lumières et leur référence au modèle normatif de la « maison rustique », hérité de Caton (Agriculture romaine), dans la promotion d'une technologie moderne de la construction en terre au service d'une amélioration de l'architecture rurale. Une référence reconnue par Laugier, dans son « Essai sur l'Architecture », à travers l'habilitation de la « cabane primitive » comme modèle fondateur de l'architecture civile et publique et de ses « magnificences » au cours des siècles. Une filiation qui réactualise ses sources avec le « *Praedium rusticum* » de Charles Estienne, édité en 1564, puis avec « La Nouvelle Maison Rustique », du même auteur, dont les éditions, traductions et adaptations se succéderont jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle⁴. Mais encore, plus en amont, avec « Les Dix Livres de l'Architecture » de Vitruve dont la pensée théorique est réactualisée par la traduction de Claude Perrault de 1673. Cette filiation est alors étendue par les apports successifs de l'architecte G.M. Delorme (1700-1782)⁵, de Georges-Claude Goiffon, avec son « Art du Maçon Piseur » (1772), de l'architecte lyonnais François Claude Boulard à qui l'Abbé Rozier confie la rédaction d'un cahier descriptif du pisé dans son « Cours Complet d'Agriculture » (1786), et enfin de l'architecte-entrepreneur François Cointeraux, également lyonnais, qui reprend cet héritage et assure, par l'impact de sa production écrite (72 fascicules, essais et pamphlets) un plus large rayonnement européen et international de la construction en « nouveau pisé » ou en « pisé décoré ». Ce sont ses fameux « Cahiers d'École d'Architecture Rurale » (1790-1791)⁶, dont l'un d'entre eux, traduit par l'architecte anglais néo-classique Henry Holland, réadapté par d'autres auteurs anglais tels que William Barber et Nicholson, par l'encyclopédiste Abraham Rees⁷, est diffusé vers les États-Unis. Il fera l'objet de reprises et adaptations successives (J.B. Papworth, E. Gilman, Stephen W. Johnson⁸) puis sera diffusé vers l'Australie, en 1823, par des quotidiens⁹. Également en Allemagne, avec une filiation qui s'établit entre les travaux de Wilhelm Tappe, de David

³ Besenval, Roland, CNRS, « Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 1 », 196 p. et « Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 2 », 224 planches, synthèse n°15, éditions Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984.

⁴ Nous faisons ici référence à une huitième édition de « La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne, la manière de les entretenir ou de les multiplier », datée de 1763, en deux tomes ; tome 1, 664 p. et tome 2, 677 p. La maison rustique en murs de terre est évoquée dans le tome 1 aux pages 36-38. Dans « La maison rustique : logique sociale et composition architecturale », (éditions puf ethnologies, Paris, 1991), Jean Cuisenier observe (p. 33) que les préceptes qui fondent le modèle de la maison rustique, énoncés par Charles Estienne en 1564 demeurent inchangés ou presque jusqu'en 1792, à travers plus de cent éditions, traductions et adaptations de son livre.

⁵ Delorme, G.M., « Mémoire pour la construction des murs en terre », lu le 17 mars 1745 à Amiens, à l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon.

⁶ Cointeraux, François, « École d'architecture rurale et économique », Paris, Imprimerie N.H. Nyon, 1790, 2 p. « École d'Architecture Rurale ; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule », Paris, 1791. « École d'Architecture Rurale ; deuxième cahier dans lequel on traite de l'art du pisé ..., des qualités des terres propres au pisé ..., des détails de la mise en oeuvre, du prix de la terre », 76 p. illus., Paris, 1791. « École d'Architecture Rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils » ..., 68 p., Paris, 1791.

⁷ Barber, William, « *Farm Buildings* », 1805 ; Nicholson, « *Agricultural Dictionary* », 1807 ; Rees, Abraham, « *Farmer's Dictionary* » et « *Cyclopaedia or Universal Dictionary for Science and Literature* », 1810-1817 et 1824.

⁸ Papworth, J.B., « *Rural Residences* », 1818 ; Gilman, E., « *Economical Builder : A Treatise on Tapia and Pisé Walls* », 1839 ; Johnson, Stephen, W., « *Rural Economy* », 1806.

⁹ Références fournies par Cody, Jeffrey William, « *Earthen Wall Construction in the Eastern United States* », Master of Arts, Graduate School of Cornwell University, Juin 1985, 460 p. *Hobart Town Gazette*, 3 mai 1823, lui-même cité par le *Sydney Gazette*, vol. XI n° 1019 du 28 mai 1823. Voir aussi le *Sydney Gazette* vol. XI n° 1021 du 19 juin 1823.

Gilly puis de Christian Ludwig Seebass¹⁰, B.C. Faust, Ernst Conrad et Jacob Wimpf. Au Danemark avec une adaptation de K.H. Seidelin¹¹. En Italie, avec l'adaptation de Giuseppe Del Rosso¹² et en Suisse, avec Louis Raymond¹³. C'est en effet ce foisonnement international de traductions et adaptations des « Cahiers d'École d'Architecture rurale » de François Cointeraux, qui semble avoir beaucoup contribué à fonder la modernité de la construction en terre dans les pays européens, mais aussi aux États-Unis et en Australie avec la forte immigration européenne des XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles vers ces contrées lointaines.

1.2. Présence universelle des architectures de terre

L'importance générale du patrimoine

Au début des années 80, on évaluait la population mondiale vivant dans un habitat en terre à 30 %, soit près de 1 500 000 000 d'êtres humains. Cette statistique générale recentrée sur les seules régions du monde en développement montre alors qu'il s'agit de 50 % de la population, en majorité rurale et d'au moins 20 % de la population urbaine et périurbaine. Alors que l'on inaugure ce XXI^{ème} siècle, ces chiffres devraient être révisés à la hausse. En effet, beaucoup de régions du monde étaient encore récemment inexplorées quant à l'étude de leurs architectures de terre. L'amplification des échanges au sein de la communauté scientifique internationale, au cours de ces quinze dernières années, dans le cadre de grands colloques internationaux¹⁴, puis la dynamisation de ces échanges favorisée depuis le lancement, en 1989, du « Projet Gaia »¹⁵ sur la préservation des architectures de terre, ont permis d'élargir considérablement le champ des connaissances et de constater qu'un important travail de repérage, d'inventaire et d'analyse des patrimoines architecturaux nationaux a été entrepris. Les contributions d'excellence apportées par les trois dernières conférences internationales sur la préservation des architectures de terre, lors de « Adobe 90 », à Las Cruces, Nouveau Mexique, États-Unis, lors de « Terra 93 », à Silves, Portugal, et lors de « Terra 2000 », à Torquay, Angleterre, le confirment ainsi que de plus en plus fréquents séminaires et colloques nationaux et locaux¹⁶. On découvre des patrimoines d'une importance et d'une qualité jusqu'alors insoupçonnées et l'existence d'un important fonds documentaire.

Les fondements d'un savoir scientifique

Les connaissances sur les patrimoines architecturaux vernaculaires, pour les différentes régions du monde, commencent à être mieux établies. Mais leur étude, selon une approche spécifique des cultures constructives en terre demeure encore partielle, voire lacunaire. Prenant l'exemple des pays européens, ce sont principalement les textes anciens des historiens et des géographes grecs, puis romains, référencés jusqu'à nos jours, qui fondent les savoirs. Il y eut pourtant une longue période de silence au cours du Moyen Âge et même durant la Renaissance où, à l'exception d'Alberti¹⁷, on n'accorda

¹⁰ Les travaux de Wilhelm Tappe (1769-1823), théoricien de l'architecture, sont évoqués par Güntzel, Jochen Georg, in « *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland* », Staufen : ökobuch-Verlag, 1988. David Gilly est aussi connu pour avoir été le fondateur de la *Baüakademie* de Berlin. Voir, Gilly, David, « *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister* », Rengerschen Buchhandlung, Halle, 1811, et Friedrich Vieweg, Braunschweig, 1818. Christian Ludwig Seebass était professeur de philosophie à l'Université de Leipzig. Voir : Ludwig Seebass, Christian, « Cointeraux, François, *Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang (...)* », Leipzig, 1803, 195 p. Jacob Wimpf, avocat et propriétaire industriel allemand qui a réalisé plusieurs de ses bâtiments industriels en pisé, en application des modèles architecturaux proposés par François Cointeraux. Il écrivit lui-même un traité de construction sur le pisé : Wimpf, Jacob, « *Der Pisé-Bau* », Heilbrann, 1841, 60 p. Faust, B.C., « *Der Lehmsteinbau* », Buckeburg, 1839. Et, Conrad, Ernst, « *Veder den Pisé-Bau* », Kretschmar, Chemnitz, 1840.

¹¹ Seidelin, K.H., « *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux Beskrivelse og i afskiltigt forandret* », 1796, Kopenhagen.

¹² Del Rosso, Giuseppe, « *Dell'economica costruzione delle case di terra* », Presso J.A. Bouchard, Florence, 1793, 75 p. et 4 planches tirées de Cointeraux.

¹³ Raymond, Louis, « *Mémoire Sur La Bâtisse en Terre* », Imprimerie d'Elie Carey, Genève, 1857, 44 p. et 2 planches dessinées.

¹⁴ « *Earth Construction Technologies Appropiates to Developing Countries* », Bruxelles, Belgique, en 1984, puis un « *International colloquium on earthen architecture* », à Beijing, Chine, en 1985, d'autres colloques à Trivandrum, Bangalore et Manipal, en Inde, en 1987, 1988 et 1990, « *Adobe'90* » à Las Cruces, États-Unis, 1990, « *Terra 93* », à Silves, Portugal, en 1993 et « *Terra 2000* », à Torquay, Angleterre, organisée sous les auspices de « *English Heritage* ».

¹⁵ Projet conjointement créé en 1989 par l'ICCROM (Centre International d'Études sur la Restauration des Biens Culturels, Rome, Italie), et le CRATerre-EAG, pour développer des activités intégrées dans les domaines de la formation, de la recherche, de la coopération et de l'édition. Désormais un nouveau projet associe le « *Getty Conservation Institute* » (Los Angeles, USA) qui s'intitule « *Projet Terra* ». CRATerre est également le Centre d'excellence de la Chaire UNESCO « Architectures de terre et développement durable », première chaire Unesco en architecture en Europe (deuxième dans le monde), inaugurée en septembre 1998.

¹⁶ Ces dernières années ont vu se multiplier les colloques et séminaires, organisés par des universités ou des réseaux de professionnels du bâtiment, permettant de faire le point sur l'état des connaissances dans le domaine des patrimoines architecturaux en terre. Parmi ceux que nous repérons : au Portugal (« *Bâtir en terre en Méditerranée* »), à Cagliari et à Oristano, en Sardaigne, à Rome, Italie, à Brno (« *earthen architecture Danubian network* »), en Tchécoslovaquie, à Plymouth (« *Out of earth* »), en Angleterre et en Allemagne (« *Lehmbau* »).

¹⁷ Alberti, L.B. (1404-1472), in « *De Re Aedificatoria* », traduction de J. Martin, Paris, 1553, pp. 48-49. Les textes d'Alberti témoignent d'un intérêt pour tous les genres de construction y compris la construction en terre.

aucun intérêt « officiel » à l'architecture de terre. Mais ce sont bien ces auteurs anciens qui ont contribué à établir les bases d'un corpus théorique de la construction en terre qui pouvait prendre place dans une science de la construction se constituant au cours de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Dans ce contexte, on doit relever la publication du « Traité de l'art de bâtir », de Jean-Baptiste Rondelet¹⁸, qui consacre un chapitre d'une quinzaine de pages à la construction en briques de terre crue et en pisé. Simultanément, cette époque est favorable à une analyse méthodique d'une plus grande quantité de matériau d'étude de l'histoire de l'humanité. L'exploration des centres de civilisation anciens et des cités antiques commence à donner une autre dimension à la documentation historique. Le développement de l'archéologie égyptienne qui débute avec l'expédition de Bonaparte en 1798, puis le début des grandes campagnes de fouilles en Mésopotamie et au Proche-Orient, vont confronter les chercheurs à l'évidence d'un vaste patrimoine architectural construit en terre témoignant de l'histoire de l'humanité. Ces premières évidences sont consolidées par les apports de l'archéologie des Amériques qui constitue un second champ de recherche sur la présence humaine ancienne au « Nouveau Monde ». Au delà des premiers travaux exécutés aux Etats-Unis¹⁹, les vestiges des civilisations précolombiennes d'Amérique centrale, puis d'Amérique du Sud, étaient fouillés et donnaient lieu à des publications²⁰. Au passage du XX^{ème} siècle, La géographie de l'archéologie mondiale s'étend au Moyen-Orient avec les recherches menées dans la vallée de l'Indus, à Harappa et Mohenjo-Daro²¹, puis en Chine sur la séquence préhistorique qui précédait la naissance de la civilisation chinoise²². Dans la majorité des situations de recherche que nous évoquons, le matériau terre, sous forme de torchis en hourdage d'ossatures en bois, de briques crues moulées ou de levées de terre successives constituant des murs monolithiques en bauge, affirme sa présence indissociable de l'histoire des hommes bâtisseurs. Il faut aussi relever l'importance des travaux de la Géographie humaine française, de l'anthropologie et de quelques historiens, qui prenaient place entre la fin du XIX^{ème} siècle et jusqu'aux années 40 du XX^{ème} siècle. Cette tendance de recherche sera prolongée jusqu'à ce jour par le développement d'une recherche en architecture. Les recherches des grands géographes sur les structures de l'espace rural et sur la définition des caractères typomorphologiques de l'habitat rural, qu'ils mettent en rapport avec l'économie et les modes de vie des sociétés rurales, établissent une transversalité de l'analyse avec l'histoire et l'anthropologie. En outre, elles prolongent le constat de l'archéologie sur les matériaux et les techniques de construction de l'habitat et des villes de l'Antiquité, en établissant l'évidence d'une continuité historique de l'emploi des matériaux locaux, et notamment du matériau terre, pour l'édification des habitats qui définissent les grands traits des paysages ruraux encore observables. Ainsi, les travaux de Pierre Vidal de la Blache, Max Sorre, Marc Bloch, puis Albert Demangeon, Pierre Deffontaines, Jean Brunhes et plus récemment encore, ceux de Georges Duby²³, s'inscrivent dans une même lignée et constituent un apport considérable à la connaissance de l'architecture rurale française et de son histoire, pour les époques modernes. Des architectes ont également contribué à cet enrichissement des connaissances sur l'habitat rural. Nous pensons particulièrement à Georges Doyon et à Robert Hubrecht²⁴ qui préfigurent la réalisation d'une vaste enquête d'architecture rurale, entreprise entre 1942 et 1945, sous la direction de Pierre-Louis Duchartre et Georges-Henri Rivière. Cette enquête allait mobiliser une cinquantaine d'architectes pour réaliser 1759 monographies descriptives de l'habitat rural français. Ces premiers relevés précèdent un travail de terrain complémentaire, à partir de 1969, sous la direction de Jean Cuisenier, complété par une analyse anthropologique approfondie, qui prépare la publication du « Corpus de l'architecture rurale française », par les éditions Berger-Levrault, de 1977 à 1983²⁵. Néanmoins, quelle que soit la grande valeur du travail entrepris au

¹⁸ Jean-Baptiste Rondelet élabore son traité entre 1802 et 1817. Dans ce chapitre consacré à la construction en terre, intitulé « Des pierres artificielles », il fera clairement référence au « Sieur François Cointeraux » comme spécialiste reconnu de ses pairs.

¹⁹ Le futur président Thomas Jefferson (1743-1826) fut l'un des premiers archéologues américains. Il fit fouiller en 1784 les tertres préhistoriques élevés à des fins de célébration religieuse en Ohio, au Mississipi.

²⁰ J.L. Stephens et Frederick Catherwood découvraient les centres Mayas d'Uxmal, Copan, Palenque et Chichen-Itza, entre 1839 et 1842. Au Pérou, l'archéologue allemand Max Uhle commençait ses explorations archéologiques vers 1850.

²¹ Ces sites ont été fouillés par Sir Mortimer Wheeler (1890-1976), en 1921-22.

²² Le Suédois J.G. Andersson (1874-1960) découvre un village néolithique de culture Yangshao. Par la suite, les archéologues chinois effectueront les fouilles du fameux site de Banpo entre 1953 et 1955.

²³ Vidal de la Blache, Pierre, « Principes de la Géographie Humaine », éditions Armand Colin, Paris, 1922, réédition en 1948, pp. 150-154 et tableau XVI. Sorre, Max, « Les fondements biologiques de la Géographie Humaine », édition Armand Colin, Paris, 1943, 2 volumes, 1 - 261 p. et 2, 230 p. Bloch, Marc, « Les caractères originaux de l'Histoire Rurale Française », éditions Armand Colin, réédition, Paris, 1962. Demangeon, Albert, « Types de peuplement rural », Annales de Géographie, Paris, 1938 et « L'habitation rurale en France », Géographie Universelle, éditions Armand Colin, Tome VI et Annales de Géographie, XXIX, 1920, pp. 352-375. Deffontaines, Pierre, « L'Homme et sa Maison », éditions NRF Gallimard, Paris, 1972. Brunhes, Jean, « La Géographie Humaine », éditions Puf, Paris, 1956. Duby, Georges, « L'économie rurale et la vie dans les campagnes de l'Occident », 2 tomes, Paris, 1962 et, Duby, Georges (sous la direction de), avec Wallon, Armand, « Histoire de la France Rurale », Tomes 1, 2 et 3, éditions du Seuil, Paris, 1979-1980.

²⁴ Doyon, Georges et Hubrecht, Robert, « L'architecture rurale et Bourgeoise en France », éditions Dominique Vincent et Cie, Paris, 1942, 4^{ème} édition en 1979, 521 p.

²⁵ « L'architecture rurale française. Corpus des genres, des types et des variantes », Collection dirigée par Jean Cuisenier, Musée des Arts et Traditions Populaires, Berger-Levrault, éditeur, Paris, 1977-1983. 22 volumes.

cours de ces années, les caractères spécifiques des architectures de terre restent encore en retrait par rapport aux descriptions et analyses typomorphologiques et fonctionnelles des habitats. En effet, celles-ci ne donnent pas une importance particulière, ou si peu, à l'identité des matériaux ou à la description détaillée des systèmes constructifs. Le traitement graphique de l'iconographie en rend parfois compte à qui veut bien la décrypter.

Les recherches sur la géographie et l'inventaire des habitats vernaculaires engagées dans le contexte français trouveront leur pareil dans d'autres pays d'Europe. Par exemple, les travaux du géographe italien Osvaldo Baldacci sur l'architecture traditionnelle en terre d'Italie²⁶ ou encore les études plus récentes de R.W. Brunskill²⁷ sur l'architecture vernaculaire du Royaume-Uni. Les contributions de ces auteurs doivent être situées dans une tendance de recherche de plus en plus systématique visant l'établissement de la connaissance des architectures « traditionnelles ». En effet, cette période, à la dimension internationale, connaît un foisonnement de publications sur les patrimoines architecturaux d'habitat qui connaîtra son apogée au cours des années 70 en favorisant l'édition de collections thématiques spécialisées chez plusieurs éditeurs²⁸. Cette activité d'édition résulte en grande partie du développement des travaux d'inventaire, engagés dans les années 40 et 50, à l'initiative de chercheurs en anthropologie et en ethnologie, mais également d'architectes, travaillant dans les services nationaux du patrimoine qui ont été créés dans la plupart des pays européens. Elle trouve aussi une explication dans l'émergence d'un vaste mouvement culturel en faveur des arts et traditions populaires qui semble être, aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale, un antidote aux destructions massives de ce conflit planétaire alors qu'un monde nouveau se ressaisit de ses racines pour se tourner vers l'avenir. De cette analyse complémentaire et transversale entre l'architecture et l'anthropologie, mettant en relation l'habitat, l'économie, la vie des sociétés et les milieux naturels, physiques et climatiques, naissent des ouvrages qui connaîtront un grand succès international, tel par exemple celui de Amos Rapoport, « Pour une Anthropologie de la Maison »²⁹. C'est sur ces bases de savoir que nous proposons d'esquisser une vision panoramique sélective des architectures en terre de la Terre proclamant le génie du matériau, des bâtisseurs et des lieux.

2. Les architectures de terre dans le monde

2.1. En Europe : la France et d'autres pays

Les architectures en terre de France

Au début des années 80, l'Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, (A.N.A.H.), estimait l'importance du patrimoine bâti en terre à environ 15% de l'ensemble national³⁰. Ce chiffre global ne reflète pas la réalité de la répartition régionale. La région Rhône-Alpes (Dauphiné, Lyonnais, Val de Saône, Bresse, Loire, Ardèche et Drôme rhodaniennes), approchent les 40% avec une dominante de pisé³¹ alors que les territoires septentrionaux, de la Normandie à l'Alsace, la Picardie et la Champagne, approchent les 60% avec la tradition du colombage et du torchis. Mémoire de l'histoire, l'architecture de terre rurale française a établi ses caractères dans le lien étroit qu'elle a entretenu avec l'héritage des cultures constructives, les paysages ruraux, les types de sols et de climat, de finage des terroirs et de cultures. Avec les temps modernes, même si les usages de certains bâtiments ont pu évoluer, si d'autres constructions ont été ajoutées, ou si des pratiques d'entretien, de restauration ou de réhabilitation ont pu modifier la morphologie initiale, ces caractères originaux établis depuis le XVIII^{ème} siècle et consolidés au XIX^{ème}, demeurent.

²⁶ Baldacci, Osvaldo, « *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia* », *Revista Geografica Italiana*, LXV, 1958, pp. 13-43.

²⁷ Brunskill, R.W., « *Illustrated Handbook of Vernacular Architecture* », éditions Faber and Faber, Londres, Boston, 1971, 1976 et 1978 (249 p.) et « *Vernacular Architecture of the Lake Counties* », éditions Faber and Faber, Londres, 1974, 164 p.

²⁸ Pour le contexte français, citons par exemple les éditeurs nationaux Serg, Jacques Fréal et Garnier, Dominique Vincent et Cie, Berger-Levrault, entre autres, qui viennent compléter des publications monographiques régionales.

²⁹ Rapoport, Amos, "Pour une Anthropologie de la Maison", éditions Dunod, Paris, 1972.

³⁰ Le patrimoine bâti en terre de France date pour l'essentiel d'avant 1915 - même si l'on construisait encore en terre jusque vers la fin des années 50 - et remonte en grande majorité au XVIII^{ème} siècle pour les édifices les plus anciens en bon état de conservation, bien que l'on ait identifié un patrimoine plus ancien (fin du XVI^{ème} à Lyon, p.e.) et exception faite ici du patrimoine de valeur archéologique. En terme d'habitat, ces enquêtes menées par l'A.N.A.H., montrent qu'il s'agit de plus de 2 millions d'immeubles qui représentent environ 2 400 000 logements. Dans 9 cas sur 10, il s'agit de maisons individuelles et de bâtiments ruraux.

³¹ En Dauphiné, des villages du Nord-Isère comptent jusqu'à 90 % de leur patrimoine architectural bâti en pisé, avec une typologie très large d'édifices (habitat villageois, habitat rural, quartiers d'habitat urbain, églises et chapelles, usines et manufactures de tissage, châteaux), dont les plus anciens remontent au XVI^{ème} siècle. C'est néanmoins le patrimoine daté de la fin du XVIII^{ème}, du XIX^{ème} et du début du XX^{ème} siècles, qui domine.

Il existe deux visages de l'architecture de terre française. Comme l'ont relevé les géographes de la fin du XIX^e siècle, cette dualité traduit une démarcation définie par la basse et moyenne vallée de la Loire, prolongée par une ligne virtuelle qui rejoint les massifs jurassiens en divisant la Bresse. On peut ainsi distinguer les architectures de terre du nord et du sud de la France. Au nord de la Loire, des architectures de bauge, avec les traditions bretonnes, vendéennes et du Cotentin, et des architectures de colombage et torchis, avec les traditions normandes, picardes, champenoises, vosgiennes et alsaciennes. Au sud de la Loire, des architectures en adobe et en pisé, avec les traditions d'Aquitaine étendues au Tarn et Garonne (Albigeois) et jusqu'en Béarn et Bigorre (contreforts pyrénéens). On observe quelques témoignages d'adobe en Languedoc-Roussillon et du pisé dans la basse vallée de la Durance (village de Charleval³²), jusque dans le Comtat Venaissain, la moyenne vallée du Rhône, le Lyonnais et les Dombes, la Basse Vallée de la Saône, et la Bresse méridionale. Cette distinction entre les cultures constructives en terre septentrionales et méridionales n'exclue pas pour autant des variantes et particularismes régionaux ou locaux. On peut ainsi observer du colombage et du torchis dans les Landes (sud-ouest) et de la brique de terre en Champagne (vallée de la Marne), connue sous le nom de « carreau de terre ».

En deuxième lieu, la relation qui s'établit entre les grands types de paysages ruraux et les grandes familles de cultures constructives. Nous distinguerons ici, *grosso modo*, la relation des pays de « bocage » (petites cultures et élevage intensif) et de forêts, avec les architectures de bois et de torchis, de la relation des pays « d'openfield » (grandes cultures et élevage extensifs) avec l'architecture d'adobe et de pisé. Par exemple, le colombage et le torchis dans le bocage traditionnel normand sus-évoqué. Mais aussi dans la forêt landaise et sur les territoires boisés vosgiens et champenois, ou encore en Albigeois, au Pays Basque, dans le Gers et en Bresse septentrionale. Ainsi, l'adobe dans les pays d'openfield aquitain et jusqu'en limite du Roussillon. Le pisé dans les pays d'openfield irrégulier du midi, dans la vallée du Rhône et les pays de Loire, (Forez) jusqu'en Puy de Dôme (Livradois) .

Enfin, en troisième lieu, la relation qui s'établit entre la nature des sols de surface du territoire (pédologie) et la typologie constructive. L'architecture de bois et de torchis sur les sols riches en argiles sédimentaires ou d'altération, les sols limoneux, les sables argileux, tous très plastiques et nécessitant l'ajout de fibres végétales pour réduire leur fissuration au séchage. A l'opposé, l'architecture d'adobe sur les sols alluvionnaires, terreforts ou boubènes à fraction sableuse dominante, et l'architecture de pisé sur des sols alluvionnaires et glaciaires, ou fluvio-glaciaires autrement dénommés sols de « moraines ».

Les architectures en terre crue de France n'échappent pas à la typologie définie par le géographe Albert Demangeon. Les matériaux employés, autant que les systèmes constructifs, ne réduisent ni n'altèrent cette typologie que l'on rappelle ici, brièvement.

Les maisons bloc : elles correspondent au plan le plus simple, le plus économique, et réunissent sous le même toit les espaces d'habitation et d'exploitation (étables, granges). Demangeon a distingué les *maisons bloc à terre en longueur* des *maisons bloc en hauteur*. Dans la première catégorie on peut situer la petite *boulerine* vendéenne, ou les « *longères* » de la région de Rennes, construites en bauge. Les maisons en torchis de Normandie et en adobe de moyenne Garonne en sont aussi de bons exemples. La deuxième catégorie correspond à des maisons abritant sous un même toit un ou deux étages, souvent très spécialisés. La grange et l'étable y sont souvent dominantes. On peut en observer dans les régions au sud de la vallée du Rhône. Les habitats en pisé de la Drôme, de l'Isère et du Rhône en sont de beaux exemples.

Les maisons cour : dans les régions de grandes cultures extensives (céréalières ou viticoles), l'habitat s'organisait en regroupement de bâtiments avec une relative autonomie fonctionnelle de l'habitation et des annexes d'exploitation. Le regroupement en cour correspondait à des impératifs de sécurité et de bonne organisation des tâches. Cette typologie distingue les maisons à *cour fermée* des maisons à *cour ouverte*. Les premières sont associées aux paysages du nord de la Loire et du Bassin Parisien. La grange y est très importante et ferme le plan général quadrangulaire du côté de l'accès. L'habitation se trouve en fond de cour alors que l'étable et les remises ferment les autres côtés. On peut également observer ce type, bâti en pisé, dans la région lyonnaise, le val de Saône et en Bresse septentrionale (colombage et torchis). Les maisons à *cour ouverte* correspondent à une activité d'élevage intensif. Le bétail doit pouvoir circuler librement entre les bâtiments pour se rendre à la pâture attenante. Elles décrivent généralement trois corps de bâtiments avec l'habitation en fond, la grange et l'étable disposées perpendiculairement et en vis-à-vis. Ce type est observable en Normandie (colombage et torchis), mais également en Bresse où des parties construites en pisé ont été juxtaposées à des parties plus anciennes en colombage et torchis.

³² Theus, Pierre, « La fondation d'un village de Provence au XVIII^e siècle: Charleval, 1741 », La pensée Universitaire, Aix-en-Provence, 1956, 280 p.

L'architecture de terre française est bien loin de se limiter aux bâtiments ruraux. On peut aussi découvrir de magnifiques manoirs et châteaux, des églises et bâtiments industriels, construits entre le XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècle. Ce sont aussi des centres urbains historiques, à Lyon (quartier de Croix-Rousse), ou à Montbrison (Auvergne) ; des édifices en colombage et torchis dans les villes d'Alsace (Strasbourg, Colmar), ou encore à Tours, au Mans, à Rennes, Rouen.

En Allemagne

Héritiers des cultures constructives d'Europe centrale et nordiques, les constructeurs allemands développaient pendant plusieurs siècles la construction en rondins de bois ou « *blockbau* », puis de bois hourdé de mottes de terre comme en témoigne les sites moyenâgeux de Warendorf et Gladbach (VIII^{ème} siècle). Les études des chercheurs allemands montrent que le pisé a surtout été employé à partir du XVIII^{ème} siècle, en Schleswig-Holstein, mais aussi en Basse Saxe, en Westphalie et en Hesse. Cette activité s'est poursuivie aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles³³. Les autorités de Saxe et Thuringe, se sont très tôt intéressées à la construction en terre, motivées par la recherche de solutions contre le risque d'incendie des villages qui étaient alors principalement construits en colombage et torchis avec des couvertures en chaume. Il fallait aussi préserver le patrimoine forestier, très entamé par les coupes de bois de chauffe et pour la construction navale. Beaucoup de bâtiments du Schleswig-Holstein, datés du XIX^{ème}, paraissent directement inspirés des modèles architecturaux de François Cointeraux diffusés par la traduction de ses « Cahiers d'école d'architecture rurale » par David Gilly, en 1793. D'autres personnalités allemandes ont été acquises aux idées illuministes et ont milité en faveur du pisé. Jacob Wimpf, avocat et propriétaire industriel³⁴, fut un promoteur ardent du pisé. Il érigea en 1837, à Weilburg, un immeuble d'habitations familiales de cinq étages aujourd'hui classé au patrimoine et construisit plusieurs manufactures industrielles. Les constructeurs enthousiastes de cette époque allaient inspirer toute une lignée d'auteurs se succédant jusqu'aux années 20 dont, parmi les plus fameux, A. Engelhardt, R. Jobst, C. Kuntzel, et O. Ritgen³⁵. En Prusse et en Saxe, une étude de E. Schleicher³⁶ dénombre l'existence de 17300 logements construits à cette époque. Cette motivation pour le pisé semble avoir chuté au delà des années 1923-25. Elle réapparaissait en 1939 à cause du rationnement des matériaux de construction imposé par la politique industrielle de guerre du régime hitlérien. Des normes DIN allemandes sur la construction en terre étaient publiées en octobre 1944 qui ont servi de référence aux constructeurs allemands jusqu'en 1970, année où elle furent retirées. La reconstruction de l'Allemagne sinistrée par les bombardements de 1944-45 a de nouveau mobilisé les ressources du matériau terre. Deux constructeurs allemands dotés d'une grande expérience, Richard Niemeyer et Wilhelm Fauth ont publié des traités qui font toujours autorité³⁷. Plusieurs directions générales de la *Reichsbahn* (chemins de fer) développaient des programmes exemplaires de construction de logements pour leurs employés, de locaux de stockage, gares et baraquements, à Berlin, Stuttgart, Hanovre, Saarbrücken, mais également en Autriche, à Vienne et Linz. En ex-République Démocratique Allemande, dans les petites et moyennes villes, des milliers de bâtiments ruraux étaient construits en pisé, entre 1945 et 1958, ainsi que des logements de un ou deux niveaux, et des écoles. Comme dans la plupart des pays européens, l'Allemagne a connu une récession de la construction en terre, avec la reconstitution de son potentiel industriel, à partir des années 60.

En Grande-Bretagne

Dans îles britanniques, l'architecture de terre donne souvent un caractère distinctif aux paysages régionaux. Les habitats en terre remontent à des temps très anciens. Des sites du Haut Moyen Age en témoignent comme celui de Church Down, à Chalton, dans le Hampshire (VI^{ème} au VIII^{ème} siècle). Des alignements parallèles de trous de poteaux indiquent que ces structures massives en bois étaient étayées par des jambes obliques faisant office de contreforts. Ces structures furent sans doute hourdées de torchis ou de mottes de gazon empilées. Plus tard, vers les XII^{ème} et XIII^{ème} siècles, l'habitat rural semble être construit pour durer. Il est alors construit en bauge, ou « *cob* », comme en atteste le site de Wallingford, dans l'Oxfordshire. Selon John McCann³⁸ « *le mot cob est repéré en Cornouailles en 1602. Le terme clob était employé dans le Berkshire au XVII^{ème} siècle ; clom est utilisé dans le Pembrokeshire. Ailleurs on emploie généralement les mots mud (boue) ou clay (argile).* » Mais on connaît d'autres termes locaux comme le « *wichert* »,

³³ Prof. Guntzel, Georg., « *On the History of Clay Buildings In Germany* », in « Adobe 90 Preprints », The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 57-65.

³⁴ Wimpf, Jacob, « *Der Pisé-Bau* », op. cit.

³⁵ Engelhardt, A., « *Der Lehm-Bau* », Aechitekten-Verlag, Hannover, 1919, 17 p.; Jobst, R., « *Lehm-Bauweisen* », Berlin, 1919, Kuntzel, C., « *Lehm-Bauten* », Berlin, 1919; Ritgen, O., « *Volkswohnungen ind Lehm-Bau* », Wilhelm Ernst ind Sohn, Berlin, 1920.

³⁶ Cité par Bardagot, A.M., in « L'intelligence de l'Europe et le développement de l'habitat économique en terre des années 20 à nos jours », Ministère de la Recherche et de la Technologie, Ecole d'architecture de Grenoble, CRATERre-EAG, mai 1991, 89 p., pp. 19.

³⁷ Niemeyer, R., « *Der lehm-Bau und seine praktische andwendung* », Ökobuch Verlag, Grebenstein, 1946, 158 p. Réédité en facsimilé en 1982. Et, Fauth, W., « *Der praktische lehm-Bau* », Limes Verlag, Wiesbaden, 1946, 130 p.

³⁸ McCann, J., « *Clay and cob buildings* » Shire Publications Ltd, 1983.

dans le Buckinghamshire. Cette technique est typique des comtés du sud-ouest de l'Angleterre, et particulièrement dans le Devon où furent construits plusieurs villages par de riches propriétaires terriens, à la fin du XVIII^{ème} siècle, mettant des logements à disposition de leurs ouvriers agricoles sous forme de baux emphytéotiques. Le superbe petit village classé de Milton Abbas, construit en 1773, est l'un des plus beaux fleurons du genre. On repère aussi ce type d'habitat en *cob* jusqu'en Cornouailles. Ce sont de superbes « *cottages* » aux formes étroites et étirées, percés de petites fenêtres, aux murs blanchis à la chaux, élevés sur des soubassements en briques cuites et aux toitures de chaume restaurées. L'architecture vernaculaire en briques crues est davantage présente dans le sud-est de l'île britannique. On distingue assez aisément ces bâtiments en « *clay lumps* » à un étage protégés par des enduits les apparentant à des édifices plus récents dans l'Essex, le Norfolk et le Cambridgeshire. L'Ecosse a aussi connu une tradition très ancienne de construction en terre. Des photographies du début de ce siècle, permettent d'attester l'existence de maisons populaires construites en mottes de terre gazonnées ou « *sod* » élevées à même le sol. Dans les régions où dominait l'exploitation de la tourbe, l'habitat était souvent en partie creusé et recouvert d'une toiture en terre et mousse. Ce sont les « *moss-houses* » du Stirlingshire qui furent repérées par un peintre du nom de Joseph Farrington, en 1792. Un récent travail réalisé par le « *Historic Scotland* »³⁹ montre qu'une grande partie de l'habitat des populations les plus pauvres d'Ecosse, a été construit en « *sod* », procédé aussi connu sous les appellations de « *turf* », « *divet* » ou encore « *fale* ». Il fut utilisé dès l'antiquité comme l'archéologie le prouve par les vestiges du Mur d'Antonin érigé en 143 ap. J.C. D'autres solutions mixtes ont été développées comme en attestent les « *shelling huts* » construites au cours de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Ce sont des habitats de forme circulaire avec des murs en pierres bâties à la chaux, en parement intérieur, et des mottes de « *turf* » en parement extérieur, élevées sur un soubassement de pierre. Les toitures de ces huttes étaient en bois également recouvertes de mottes herbeuses. Ce type d'habitat a aujourd'hui disparu. Les écossais ont aussi utilisé la bauge, que l'on désigne par les termes « *mud walls* » ou « *clay walls* ». De très nombreux « *cottages* » ruraux, mais aussi des maisons de villages du Perthshire, du Duunfriesshire, du Banffshire ou d'Inverness, comme des quartiers historiques de villes (Dundee, Edimbourg), témoignent d'un emploi extensif de ce procédé sur au moins la moitié des territoires d'Ecosse. Ce mode de construction suggère une filiation avec les procédés utilisés par les bâtisseurs de l'île de Man et d'Irlande.

En Italie

La colonisation grecque introduisait la brique crue à partir du VI^{ème} siècle avant J.C. Son emploi se développera tout au long de l'histoire de la péninsule, traversant les époques étrusques et romaines, et la brique crue demeurera le matériau dominant de l'édification des habitats ruraux, jusqu'aux époques post augustéennes (1^{er} et 2^{ème} siècles ap. J.C.). Dans son livre témoignant des « merveilles de l'architecture de terre crue », Eugenio Galdieri⁴⁰ nous rappelle que les établissements de l'antiquité romaine étaient fortifiés par des levées de terre : *l'agger terreus carinarum*. Ces fortifications étaient encore édifiées aux époques romaines récentes (1^{er} siècle av. J.C.) et Varron⁴¹ témoigne que les bâtisseurs sabins utilisaient le pisé "en mélange de terre et de gravier aggloméré dans des moules, comme en Espagne et dans le territoire de Tarente." D'autres auteurs comme Vitruve, Pliny l'Ancien et Columelle ont évoqué l'utilisation constructive de la terre pour les ouvrages de défense ou d'habitat en Italie.

Même s'il fut connu des romains, sous l'appellation d'*opus formarium* et d'*opus africanum*, le pisé - terme dérivé du latin populaire *pi(n)sare* ou *pisare* qui signifie massiver - ne fut pas beaucoup développé sur la péninsule qui utilisait davantage la brique crue (*lateres*) héritée de la Grande Grèce. Ce matériau est toujours dominant dans le patrimoine d'habitat rural en terre des Abruzzes, dans les Marches, les Pouilles, en Lucanie et en Calabre ainsi que dans les *Campidani* de Sardaigne⁴². On retrouve quelques traces de pisé en Italie, au Moyen Age, évoquées par un ouvrage sur l'histoire de la maison rurale de B. Crova⁴³ : « *le abitazioni si ridussero a rozzi tuguri costituiti del legname ... ovvero da paglia e terra battuta, costituendo i muri che presero il nome di pisé (...)* ». Des influences étrangères, à la fois orientales et occidentales, ont contribué à introduire leurs modes de construction en terre traditionnels, entre le début du XVI^{ème} et la première moitié du XVIII^{ème} siècles. Ce fut le cas d'une population chrétienne émigrant de Yougoslavie, Albanie et Grèce, chassée par les invasions ottomanes dans les Balkans, qui se réfugia dans les Marches, les Pouilles et

³⁹ Walker, B., McGregor, C., Little, R., « *Earth Structures and construction in Scotland* », Historic Scotland Technical Advice Notes n°6, Edimbourg, 1996, 128 p.

⁴⁰ Galdieri, Eugenio, « *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda* », Editori Laterza, Rome-Bari, 1982, 305 p. ; Chapitre VIII, « *una piccola Italia di argilla* », pp. 191-200

⁴¹ Varron, *Res Rusticae*, I, 14, 40.

⁴² Baldacci, Osvaldo, Carte de la diffusion de la brique crue en Italie, « *L'ambiente geografico de la casa in terra in Italia* », in Revue de géographie italienne, Vol. LXV, Florence, 1958 ; du même auteur, « *La Casa Rurale in Sardegna* », Florence, CNR, 1952.

⁴³ Crova, B., « *Case rurali attraverso i secoli* », Difesa Sociale, XIII, n°9, 499 p., Rome, 1934, cité par Eugenio Galdieri.

en Calabre⁴⁴. Mais aussi dans le Piémont méridional où, au début du XVII^{ème} siècle, des Sarrasins venus d'Espagne se seraient installés dans la région de Scrivia⁴⁵.

Le pisé, en Italie, ne peut être observé que sur l'habitat rural de deux régions. D'une part dans le Piémont méridional, dans l'aire dénommée « *Frascheta* » qui correspond à la partie sud de la province d'Alessandria (villages de San Giuliano Nuovo, San Giuliano Vecchio et Mandragne, par exemple), également dans la Plaine de Marengo, et d'autre part sur quelques territoires de Toscane (aires de la *Valdechiana* et de la *Cortona*)⁴⁶. La typologie de l'habitat en pisé de ces régions restitue des modèles très simples de maisons bloc en hauteur compactes (Plaine de Marengo) ou de maisons bloc à terre en longueur (Toscane), qui correspondent à l'habitat des familles paysannes les plus pauvres, celles des journaliers. On ne trouve pas de témoignage d'une architecture en pisé de type bourgeois qui aurait adopté les éléments de composition typés de la stylistique du XVIII^{ème} et du début du XIX^{ème} siècle, comme c'est le cas en France ou en Allemagne.

C'est sur cet héritage historique que l'on situe, en Italie, l'adaptation critique des « Cahiers d'école d'architecture rurale » de François Cointeraux par Giuseppe Del Rosso qui publie en 1793 son opuscule intitulé « *Dell'economica costruzione delle case di terra* ». La préoccupation de l'auteur est claire et comparable à celle de ses confrères architectes européens (Henry Holland et David Gilly), comme lui membres de sociétés savantes et d'académies⁴⁷. Il traduit et adapte Cointeraux dans le souci d'être utile à l'amélioration des conditions de vie rurales, et dédie son opuscule « *aux propriétaires industriels et aux habitants de la Région de Toscane* ». Del Rosso se situe donc directement dans le lignage de la pensée de l'Europe des Lumières et considérerait l'art de bâtir en pisé comme une solution pouvant garantir la salubrité, la durabilité, l'incombustibilité de cet habitat, tout en faisant appel à l'utilisation de moyens économiques.

Parlant de l'architecture vernaculaire en terre d'Italie, qu'il reliait à celle d'un plus vaste monde, le géographe italien Osvaldo Baldacci évoquait une véritable « *civilisation du cru* ». Comme l'a noté Mauro Bertagnin⁴⁸, ce sont des murs de terre élevés à même le sol, ou en tranchées, sur « *uno strato di breccia o di cocci di mattone* », dans la région des Marches, parfois sur des fondations et soubassements dressés en pierres locales, « *priassòn* » et « *pezzi di laterizio* » bâtis à l'argile liquide, dans le Piémont, ou plus modestement en « *pietrisco e calce* », en Basilicata. De tradition, on livrait la maison de pisé avec sa toiture, en Piémont comme en France, dans le Dauphiné. Des toitures et couvertures en « *legno di acacia* » ou « *di olmo* » pour la charpente, et des « *canne palustri* » ou de « *la paglia* » pour les couvertures des « *casoni* » lagunaires du Veneto, ou « *canniciata* » pour les « *pagliare* » et les « *atterrati* » de la région des Marches. De ce florilège de mots et d'expressions populaires se dégage un large prisme de colorations et une superbe musicalité de la langue italienne régionale qu'a restitué Bertagnin dans son ouvrage. C'est ainsi que la maison de terre italienne se décline en « *casciòt* », « *casci'n-na* » ou « *cascinotto* », dans le Piémont ; en « *ca'de tron* » ou « *ca' de madòn* » selon qu'elle est construite en briques crues ou en pisé, en « *gabanòt* » ou en « *casutèll* », en Lombardie ; ou encore en « *casa di zolle erbose* » (mottes de terre découpées), en Toscane, en « *pagliare* », « *casalino* » dans les Marches, en « *casedda* » dans la Basilicata, en « *brestarta* » dans la Calabre. C'est ainsi que le maître-maçon piseur piémontais se dénomme le « *battitore di case* » et que le constructeur en briques de terre des Abruzzes s'appelle le « *mastre* » ou le « *casoniere* » dans le Veneto. Mais plus encore, c'est la richesse du langage vernaculaire désignant les briques de terre crues, si banalement et communément appelées adobes dans le monde entier, qui donne une coloration exceptionnelle à cette « *civilisation du cru* » italienne : « *massi* », « *massoni* » ou « *gnocchi* » des Marches ; « *massùne* » en bauge des Abruzzes ; « *lòttul* » et « *nòttul* » de Lombardie ; « *ciùciule* » de Basilicata ; « *mattonazzu* » ou « *mattunazze* », « *brestì* » ou « *bisu* » de Calabre ; « *mattone crudo* » ou « *ladiri* » de Sardaigne.

⁴⁴ D'après Galdieri, Eugenio, « *Etat et futur des Bâtiments Italiens en Terre : les cas du Piémont et de la Sardaigne* », in « *Le Patrimoine Européen en Terre et sa Réhabilitation* », colloque international MELATT, ENTPE, Université Jean Moulin Lyon III, Mars 1987, 583 p., pp. 258-259.

⁴⁵ Barozzi, Pietro, étude, « *Le trunere della Frascheta nella piana di Alessandria* », Revue de géographie italienne, cité par Mauro Bertagnin dans son édition critique du manuel de Giuseppe Del Rosso, « *Il Pisé e la Regola Manualistica Settecentesca per l'Architettura in Terra* », EdilStampa, Roma, 1993, 107 p. pp. 11-27.

⁴⁶ Bertagnin, Mauro, « *L'architecture de terre en Italie : connaissance et réhabilitation d'un patrimoine typologique et technologique méconnu* », in « *Le Patrimoine Européen Construit en Terre et sa Réhabilitation* », op. cit. pp. 219-253.

⁴⁷ Del Rosso est membre de la R. « *Academia De' Georgofili* » de Florence et Henry Holland membre du « *Board of Agriculture* » de Londres.

⁴⁸ Bertagnin, M., « *Architetture di terra in Italia* », Préface de Guillaud, H., EDICOM edizioni, Monfalcone (Gorizia), 1999, 319 p..

2.2. En Amérique, le Mexique, le Pérou et les U.S.A.

Le Mexique

Les premières évidences d'un habitat léger de bois et torchis sont situées entre le VI^{ème} et le V^{ème} millénaire, durant le Précéramique Archaique qui correspond à la domestication du maïs, de la courge et du haricot et s'accompagne d'une extension de l'habitat sédentaire en villages. Puis, avec les traditions « *Abejas* » de Tehuacan et « *Martinez* » de Oaxaca, les premiers édifices publics sont dressés sur des plates-formes construites en éléments de terre façonnés préfigurant les adobes. Inaugurée en 900 av. J.C., l'influence des Zapotèques est mieux établie avec la fondation du site de Monte Alban qui domine la vallée de Oaxaca. Plusieurs édifices de ce site sont supposés avoir été en briques de terre crue moulée, élevées sur des soubassements en pierre taillée. Monte Alban marque une tendance à la séparation entre les structures de prestige, l'habitat domestique et des quartiers destinés aux activités artisanales. En l'espace de onze siècles, l'habitat est passé d'un système ouvert à des espaces fermés où la maison et les dépendances sont regroupées autour d'un patio. L'apogée des Zapotèques et de Monte Alban, située en 50 ap. J.C., aurait correspondu à une occupation du site par près de 30 000 habitants.

Le début de notre ère correspond à l'édification de pyramides en terre à base circulaire qui précèdent l'avènement de la Période « *Tzacualli* » inaugurant les premiers ensembles de pyramides : les « *teocallis* ». La civilisation de Teotihuacan est établie vers 150 ap. J.C. Le grand axe de la « Cité des Dieux », l'Allée des Morts, long de plus de cinq kilomètres, est bordé de ces pyramides en briques de terre accumulées, parée de pierres : la citadelle, la pyramide de Quetzalcoatl, la Pyramide du Soleil, et en bout de l'allée, la pyramide de la Lune. Dans le quartier de Tlamimilalpa, l'habitat populaire est regroupé en zones denses. Ce sont des ensembles d'habitations d'un seul niveau, fermées par des murs aux dimensions uniformes et d'orientation identique, organisées autour de patios. Élevées sur un soubassement en pierre avec un stucage au mortier de chaux, ces habitations ont pu être en bois et en torchis ou même en briques de terre crue. A son apogée, le site de Teotihuacan a pu regrouper jusqu'à 200000 habitants. Au VII^{ème} siècle ap. J.C. les envahisseurs toltèques du nord qui ont fait plier Teotihuacan se civilisent et fondent une nouvelle cité dans le Bassin de Mexico : Tula. La terre, associée à la pierre, fut sans doute utilisée pour la construction des ouvrages publics et devait être revêtue d'enduits à la chaux, techniques déjà parfaitement maîtrisées par la civilisation de Teotihuacan. Il reste peu de traces de l'habitat mais il n'est pas impossible que celui-ci dut emprunter ses dispositions, ses formes et ses techniques, à la civilisation antérieure de Teotihuacan. La civilisation de Tula s'effondre vers 1168 sous la pression des migrations aztèques envahissant le bassin de Mexico. C'est sur un îlot rocheux du lac Texcoco que les Aztèques érigent leur premier temple à leur dieu solaire et guerrier *Uitrilopochtli*. Cette simple cabane de roseaux marque la fondation de Tenochtitlan-Mexico, en 1325 ou 1369 ap. J.C. L'implantation première du site colonise progressivement la partie occidentale de la lagune avec une extension de l'habitat sous forme de bourgade de huttes en bois, végétaux et torchis. Les Aztèques y développent un mode de vie essentiellement lacustre sur la base d'un troc de produits de la pêche contre des matériaux de construction produits par les populations environnant le lac Texcoco. Un siècle plus tard, en 1473 ap.J.C., la cité déjà vaste de Tenochtitlan s'étend à la cité lagunaire voisine de Tlateloco. Ce rayonnement de la civilisation aztèque ne sera que de courte durée puisque s'annonce la période coloniale espagnole avec l'arrivée des *conquistadores* dans la vallée de Mexico le 8 novembre 1519. Les chroniques de Bernard Diaz Del Castillo et de Ignacio Bernal rapportent que les espagnols découvrirent une ville superbe, toute blanche, une vaste agglomération lacustre édifiée sur une zone marécageuse aménagée. La ville de Tenochtitlan-Mexico dépasse les limites insulaires du lac Texcoco et s'étend sur près de 1000 hectares. Elle aurait abrité jusqu'à 500000 personnes. Reliée à la terre par trois grandes digues constituant des chaussées soigneusement construites et entretenues, la cité est parsemée d'ouvrages hydrauliques, canaux et aqueducs. On y circule en barque. L'habitat populaire aztèque était simple, sans étage et à toiture terrasse plate, sa façade principale, aveugle, orientée vers la rue ou vers un canal. Une cour intérieure permettait de cultiver des fleurs et légumes, d'élever des dindons. Le matériau le plus couramment employé était la brique de terre. Le palais de Moctezuma II, qui a régné de 1502 à 1520, est lui-même constitué de bâtiments à terrasses plates, aux murs édifiés en pierres et en briques crues dressées au mortier de chaux et revêtus d'un stucage polychromé. Le 14 août 1521, la ville de Tenochtitlan, « Venise du Nouveau Monde », est mise à sac et détruite par les troupes de Hernan Cortez qui anéantit la civilisation aztèque et inaugure le début de la colonisation espagnole.

Depuis ces époques coloniales, dans l'ensemble du « Nouveau Monde », le matériau terre continuera à être abondamment employé dans la construction des habitats ruraux et des logements urbains. En effet, l'architecture vernaculaire en terre mexicaine est comparable à celle des autres pays d'Amérique latine centrale. Au Guatemala, en Costa Rica, au Nicaragua, au Salvador, cette partition entre une architecture urbaine historique en adobe et une architecture rurale en bois et torchis peut être toujours observée de nos jours. Les bâtisseurs des époques coloniales fondaient leurs pratiques constructives sur les savoir-faire natifs en reprenant et améliorant les matériaux et les principes de construction locaux. Ce fut le cas pour la construction des édifices religieux et des bâtiments des missions franciscaines et jésuites durant les grandes périodes d'extension de l'empire espagnol sur l'Amérique latine qui

contribuaient à l'installation de nouveaux établissements humains ou à la croissance des villages anciens. De même pour la construction des grandes « *haciendas* » agricoles et de leurs établissements ruraux périphériques, au cours du XVIII^{ème} et du XIX^{ème} siècle, où les constructeurs privilégieront l'emploi de la brique de terre crue moulée, associée à la pierre pour les chaînes d'angle, les tableaux de baies et pour le traitement de la modénature (corniches, frontons). Combien d'édifices dans les territoires septentrionaux du Mexique, de Monterrey à la Basse Californie, témoignent de cet art de bâtir totalement maîtrisé. Jusqu'à l'époque de développement industriel qui associait le béton à l'adobe. Aujourd'hui encore, hors la ville, la terre crue demeure l'un des matériaux de construction commun de l'architecture rurale mexicaine.

Le Pérou

C'est au II^{ème} millénaire avant J.C. qu'apparaissent les premières structures en terrasses de terre. Celles-ci supportent des constructions quadrangulaires en partie enterrées dont la partie supérieure fut vraisemblablement dressée en ossature bois hourdée de torchis. Les édifices qui préfigurent les premiers totems funéraires ou « *Huacas* », sont datés du XVI^{ème} siècle avant notre ère. Sur le site de Rio Seco, au sud de Paramonga, on peut observer deux constructions pyramidales tronquées, de 4 mètres de haut. Ces enveloppes de briques crues remplies de galets de rivière constituent des plate-formes recouvertes de sable. Puis, au XIII^{ème} siècle av. J.C., sur la côte pacifique nord, apparaissent de vastes ensembles cérémoniels, souvent cernés de monolithes de granit gravés. Dans la vallée de Casma, le site de Serro Sechin constitue l'un des plus beaux exemples de cette architecture associant la pierre bâtie au mortier de terre et la brique de terre de forme conique. Ces briques, dont quelques échantillons sont exposés dans le petit musée de site Max Uhle, sont impressionnantes par leur taille (60 cm de diamètre en leur base et 50 cm de haut pour les plus volumineuses). Leur variété de forme confirme qu'elles étaient façonnées de main d'homme. Le passage du I^{er} millénaire av. J.C. introduit de nouveaux modèles d'habitat liés au développement de grands centres politico-religieux. Vers le II^{ème} siècle, les territoires de la côte nord du Pérou, sont marqués par l'édification de plusieurs cités, parfois fortifiées, et par la construction d'un vaste système d'architecture hydraulique amenant l'eau des Andes dominantes pour étendre l'irrigation des terres côtières désertiques. Le passage de notre ère amène la naissance de la culture Nazco qui confirme l'utilisation de la brique crue moulée en remplacement de la brique conique façonnée. La culture Moche qui s'établit par la suite sur les régions côtières poursuit les travaux d'irrigation et leur donne une ampleur considérable. Au voisinage immédiat des habitats sont édifiés de grands édifices cérémoniels. Les célèbres « *Huaca del Sol* » et « *Huaca de la Luna* », édifiées dans la vallée du Moche, près de Trujillo, sont parmi les plus grands monuments au monde édifiés en briques crues, comparables aux ziggourats sumériennes. Puis, la brique de terre crue sera le matériau d'excellence de l'empire Chimú qui colonise les vallées côtières pour y concentrer une élite dirigeante et leurs serviteurs. Les ouvriers, constructeurs des ensembles palatiaux Chimú, semblent vivre hors la ville, dans des maisons rudimentaire de bois, torchis et toitures en chaume, édifiées à proximité des terres cultivées, comme en témoigne une reconstitution du Musée de site de Chan Chan. Superbe Chan Chan. Ce vaste ensemble, considéré comme la plus grande cité planifiée du Pérou préhispanique, connaît son apogée au XIII^{ème} siècle. Il constitue à la fois un lieu de résidence pour les souverains Chimú et un lieu de stockage des denrées agricoles. Les temples occupent une place secondaire. En effet, la fameuse « *Huaca del Dragon* » ou « *Arco Iris* », se trouve hors du périmètre de ce vaste site couvrant une superficie d'environ 20 km² et qui aurait pu abriter jusqu'à 40000 personnes. Chan Chan est divisée en une douzaine de « quartiers » ou « palais » mesurant jusqu'à 500 x 300 mètres de côté et ceints d'une muraille de briques d'adobe, de 4 mètres d'épaisseur à la base et haute de 7 à 8 mètres. Chacun de ces quartiers correspond à un souverain de la dynastie Chimú dont le palais résidentiel devenait sanctuaire à sa mort, entretenu par ses proches et des prêtres. Dans le quartier Von Tschudi, l'un des mieux conservés, les murs d'adobe sont revêtus d'un enduit d'argile lissé, décoré de frises en relief aux motifs répétitifs faisant alterner des représentations zoomorphes de la faune côtière animalière (« *nutrias marinas* »), de poissons et d'oiseaux de mer (pélicans, cormorans). Le quartier Rivero, voisin du Von Tschudi, témoigne de la construction en bauge vraisemblablement coffrée pour l'ensemble des murs périphériques. L'emploi de ce procédé confirme le souci des constructeurs Chimú d'élever la productivité pour réduire les délais de construction. L'adobe est alors réservée à la construction de structures plus petites, à l'intérieur de cette vaste enceinte de bauge.

Les Incas, tribu issue de la région située entre le lac Titicaca et Wari, s'installent vers 120 ap. J.C., dans la plaine de Cusco. Ils étendent progressivement leur influence sur la région andine et constituent un empire vers 1400 ap. J.C. L'année 1438 marque une première expansion de l'Empire Inca au delà des hautes terres andines, sous le règne de l'Inca Pachacuti. Ils engagent alors la domination des sites côtiers vivant dans l'opulence et très vulnérables à cause de leur dépendance à l'irrigation, en prenant le contrôle des ouvrages hydrauliques qu'ils détournent. Face à cette pression des Incas, l'Empire Chimú édifie de grands ensembles défensifs le long des territoires côtiers. Tel est le cas de la forteresse de Paramonga, un site qui domine l'Océan Pacifique, élevé sur une succession de plates-formes en blocs d'adobe. Mais les Incas finissent par avoir raison de l'empire Chimú avec les conquêtes du fils de Pachacuti, Tupa Yupanqui, qui fait

tomber Chan Chan en 1450. Un manuscrit inca rapporte que lorsque Tupa Yupanqui entra en vainqueur à Chan Chan, il fut stupéfait de constater la richesse et la beauté de la cité côtière, construite selon un plan immense, avec ses rues droites et alignées, inondées de soleil. Les Incas emprunteront beaucoup aux Chimú en matière d'urbanisme pour leurs villes côtières et de techniques de construction en terre. Ces ensembles côtiers sont construits en adobe ou en pisé comme on l'observe à Tambo Colorado, le long du Rio Pisco, à Pachacamac ou Puruchuco, sites proches de Lima dans la vallée du Rimac. Dans les sites andins, l'architecture civile d'habitat a principalement utilisé la brique d'adobe et le pisé dressés sur des soubassements de pierre. Les quartiers populaires de Cusco, Pisac et autres cités incas d'altitude, étaient sans doute bâtis en application de ces techniques comme en témoignent les édifices de ces époques (Temple de Wiracocha à Raqchi, par exemple). Il ne faudra que six années aux espagnols pour avoir raison de cette fantastique puissance inca sur le déclin, anéantie en 1533 par les troupes du conquistador Pizarro. Mais, les techniques de construction en terre de cette époque demeurent et témoignent aujourd'hui d'un savoir-faire venant de ces temps reculés.

Brève évocation des Etats-Unis d'Amérique

Plusieurs chercheurs nord-américains ont étudié les patrimoines d'habitat des cultures indiennes du « Grand Sud-Ouest » (Nouveau Mexique, Arizona, Colorado, Californie). Ces travaux valorisent l'architecture des « *pueblos* » de plaines et grands « *rios* » (Taos Pueblo), ou des sites de « *mesas* » (Acoma) et de « *canyons* » (Canyon de Chelly, Mesa Verde, Chaco Canyon). On peut ainsi suivre l'évolution d'une culture constructive passant du torchis sur structures en bois (les « *wattle houses* » de la culture *Mogollon* et de la période dite *Pioneer*), au hourdage en boules de terre (les « *jacal houses* » de la culture *Anasazi*), puis à l'emploi de la brique crue aux époques plus récentes (période *Pueblo*) influencées tardivement par les apports hispano-mexicains⁴⁹. Aux époques d'immigration européenne en Nouvelle Angleterre, ce sont les cultures constructives du bois, colombage et torchis, et de la bauge, dans une première période (fin du XVIII^{ème} et début du XIX^{ème} siècle), puis du pisé par suite relayé par la brique crue (XIX^{ème} siècle), qui furent successivement employées, avant que se développe la construction en brique cuite, pierre, puis en béton, à partir de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Des recherches historiques menées sur ce XIX^{ème} siècle dans l'état de New York rendent compte d'un développement de la construction en pisé à partir d'influences anglaises, elles-mêmes venues de France et confirment l'impact de la traduction des « Cahiers d'École d'Architecture Rurale » de François Cointeraux par Henry Holland⁵⁰. Pour les époques de migration des pionniers vers l'Ouest des Etats-Unis, plusieurs études récentes montrent que de nombreux établissements du Nebraska furent construits en « *sod* » (mottes de terre), alors que les populations qui s'établissaient sur les territoires du sud et du sud-ouest (Texas, Oklahoma, Nouveau Mexique, Arizona, Colorado, Nevada et Californie), privilégiaient l'adobe. Enfin, les années 1970 amènent un renouveau de l'architecture de terre à partir d'initiatives d'architectes, d'entrepreneurs et d'autoconstructeurs, dans les états du sud-ouest. Cette « *adobe fashion* associée au bioclimatisme (énergie solaire passive) est très présente au Nouveau Mexique, à Santa Fe et Albuquerque (Corrales). Ce mouvement issu de la contre culture nord américaine a été portée par des personnalités aussi fameuses que Steward Brand, fondateur du « *Whole Earth Catalog* », ou par Joe Tibbets, fondateur du journal « *Adobe Today* », par des architectes comme William Lumpkins, Steve Baer, David Wright, Paul Graham McHenry, Edward Mazria, qui ont été les références d'un renouveau des architectures de terre pour une nouvelle génération d'architectes dans beaucoup de pays du monde.

2.3. En Asie et en Australie

L'aire indienne

L'apparition de la construction en brique de terre crue est située aux époques néolithiques préharappéennes, sur les territoires du Baloutchistan (actuel Pakistan). D'importantes structures de stockage des récoltes, bâties en briques crues, marquent l'avènement de la civilisation urbaine qui s'affirme au cours de la première moitié du III^{ème} millénaire, avec l'édification de structures sociales hiérarchisées. Celles-ci bâtissent des architectures monumentales, sortes de palais coexistant avec des greniers collectifs construits sur des terrasses. Au II^{ème} millénaire, les habitats du site de Mehrgarh et le Palais de Mundigak, près de Kandahar, témoignent déjà d'un degré évolué de la construction en brique de terre crue. La grande époque de colonisation des vallées de l'Hindou-Kouch et de leurs principaux affluents, la "terre des sept fleuves", voit le déploiement de la civilisation harappéenne dans les vallées de l'Indus et de la Hakra. Cette civilisation

⁴⁹ Quelques uns des ouvrages de référence : Nabokov, Peter et Easton, Robert, "Native American Architecture", Oxford University Press, New York, 1989, 431 p. Bunting, Booth, Sims, Jr., "Taos Adobes. Spanish Colonial & Territorial Architecture of the Taos Valley", éditions du Fort Burgwin Research Center, Inc., 1964, réédition en 1975, 80 p. Bunting, Bainbridge, "Early Architecture in New Mexico", University of New Mexico Press, Albuquerque, 1976, 122 p.

⁵⁰ Deux thèses de l'Université Columbia, New York, doivent être relevées : Cody, Jeffrey William, « *Earthen Wall Construction in the Eastern United States* » et, Dassler, Lee, "Nineteenth Century New York State Earthen Homes : An Investigation Of Their Material Composition »

urbaine portée à maturité a fondé son développement sur la culture mixte de la brique crue et de la brique cuite. Harappa et Mohenjo-Daro, cités pourtant éloignées de près de 600 kilomètres l'une de l'autre, présentent des caractères similaires et traduisent les volontés de planification urbaine de leurs constructeurs. A Mohenjo-Daro, un maillage de grandes rues rectilignes permet d'ordonner l'implantation d'îlots d'habitations de plan rectangulaire qui ont pu être élevées sur deux niveaux. Les rues sont dotées dans leur axe central d'un réseau de canalisations recouvertes de dalles qui confirme le souci d'hygiène de la population. Les vestiges de cette cité témoignent de l'existence de vastes greniers et de bains publics. L'effondrement de cette civilisation de l'Indus qui avait développé près de trois cents établissements de caractère urbain, le glissement de ses influences culturelles vers l'actuel Rajasthan, suivi de la colonisation de la vallée du Gange, s'accompagneront d'un processus de pétrification de l'architecture urbaine et monumentale. La brique de terre crue sera dès lors réservée à l'habitat populaire. Cette tendance se confirme à partir des temps védiques, au V^{ème} siècle av. J.C. Les modèles de la culture constructive indienne en terre crue sont alors bien établis et fondent les références qui exposent aujourd'hui, dans l'ensemble de l'Inde, une déclinaison d'architectures d'une grande variété. La bauge, la brique crue et le torchis cohabitent dans la plupart des régions, dans l'habitat rural comme urbain. Seul le pisé est absent de ce vaste pays alors que l'on peut observer des traditions d'exception de cette technique dans les régions du nord de l'Inde, sur les piémonts himalayens, au Népal, au Bouthan et au Ladakh. La grande tradition des monastères bouddhiques et des lamasseries du Laddakh, bâtis sur des pitons rocheux ou sur des plateaux d'altitude accueillants, est sans aucun doute l'une des plus accomplies du genre.

La Chine

Une étude remarquable sur la maison chinoise permet d'apprécier la permanence des cultures constructives en terre chinoises au fil de l'histoire⁵¹. Au-delà des maisons-poches du Néolithique, l'habitat chinois s'élevait au dessus du sol en mobilisant les techniques de construction en bois et torchis, puis la bauge. Le site de Banpo, dans le Haut Bassin du Fleuve Jaune (Huang), de Culture Yangshao (II^{ème} millénaire), en témoigne. Ces maisons rondes ou ovales adoptaient le plan rectangulaire aux époques de Culture Longshan qui étendait ses influences au sud, vers le Henan et le Hubei. L'Age du Bronze et l'avènement des dynasties Shang (XVIII^{ème} - XII^{ème} siècle av. J.C) qui contrôlent la Chine du nord, inaugurent la construction des cités féodales à plans orthogonaux, ceintes de fortifications en terre battue. A Zhengzhou et Anyang, capitales Shang, les palais Yin sont construits en structures de bois hourdées de torchis. Ces principes de construction seront maintenus sous la dynastie Zhou (XII^{ème} - VIII^{ème} siècle av. J.C.) qui élève ses constructions en bois et torchis sur des plates-formes de terre damée au moyen de grosses pierres mues par des cordages. Sous la période des Printemps et Automnes (VIII^{ème} - V^{ème} siècles), puis des Royaumes Combattants (IV^{ème} siècle), la construction chinoise expérimente les matériaux cuits en inaugurant cette évolution par des torchis durcis au feu qui amèneront l'invention de la brique et de la tuile cuite. C'est aussi le début de la construction de la muraille de Chine, qui s'achèvera sous les souverains Ming, au XVI^{ème} siècle de notre ère, et dont plusieurs tronçons sont en terre damée retenue par des parements de pierre. La construction en briques de terre crue ou cuite, en hourdage de structures en bois, s'est développée à cette même période des Royaumes Combattants et s'est généralisée sous la dynastie des Han qui consacrait l'unification de la Chine, par l'empereur Qin, à la fin du III^{ème} siècle av. J.C. Cette époque de grand développement des propriétés foncières voit la multiplication des fortifications en terre damée. De ces époques lointaines, l'archéologie chinoise a révélé de vastes cités dont la taille et les formes urbaines comme architecturales sont parmi les plus abouties au monde. Tel est le site extraordinaire de Jiaohe, situé dans les régions nord-orientales du Xinjiang, à proximité de Turpan. Une ville toute d'adobe et de pisé, occupant un site privilégié de plateau élevé, long de 1,7 km et large de 300 mètres, drainé de part et d'autre par des cours d'eau. Place forte située au carrefour des relations entre l'Extrême Orient et l'Occident, Jiaohe paraît imprenable. Sous la domination des Tang, Jiaohe fut un centre important de gouvernement, une place militaire et un centre de commerce très prospère relié à la Route de la Soie. Elle fut finalement abandonnée et détruite par le feu, dans la seconde moitié du XIV^{ème} siècle. On y peut encore observer les ruines impressionnantes d'un temple bouddhique bâti en pisé, et les restes d'une pagode en adobe qui cohabitent avec un linéaire impressionnant de murs en terre totalement ruinés. L'apparition d'habitats en pisé, de forme très élaborée, est située durant la période des Trois Royaumes (à partir du II^{ème} siècle av. J.C.), chez les *Hakka* des régions du Plateau central qui maintiendront cette culture constructive jusque dans les années 50 de ce siècle. Ce sont de vastes fermes d'allure fortifiée, de plan rectangulaire ou circulaire, en anneaux concentriques, qui logent de larges groupes claniques sur deux ou trois étages en bois appuyés sur les murs extérieurs en pisé. A dater de la Dynastie Sui (VI^{ème} siècle ap. J.C.), les cultures constructives de la terre crue, torchis et brique de terre, sont réservées à l'architecture rurale et populaire alors que l'architecture urbaine adopte la brique cuite. Seul l'emploi du pisé demeure pour la construction des fortifications des grandes villes qui les conserveront jusqu'à une époque récente, tel qu'à Beijing (Pékin), où l'on pouvait

⁵¹ Dunzhen, Liu, "La maison Chinoise", éditions Berger-Levrault, Paris, 1980.

encore les observer dans les années 50. Aujourd'hui encore, les établissements humains ruraux, les quartiers anciens des petites et moyennes villes de Chine, sont en majorité construits en briques de terre crue et en pisé. Une autre tradition historique de l'architecture de terre chinoise est celle des habitats troglodytiques des provinces du Henan, Shanxi, Qinghai, et dans les régions de Ningxia et Xinjiang, toutes situées au sud de la Mongolie Intérieure, dans le bassin moyen du Huang peuplé de plus de deux cents millions d'habitants. Ce bassin fluvial est constitué de la plus grande accumulation de loess du monde, un matériau d'origine éolienne à texture silteuse qui peut être facilement travaillé et creusé, sans risque d'effrètement. Cette culture s'est maintenue au cours de l'histoire en passant par des phases successives d'évolution. Les habitats troglodytiques à creusement latéral sont souvent caractérisés par des prolongements extérieurs (cour d'accès, bâtiments annexes), qui sont bâtis en brique de terre crue ou cuites. Cette architecture s'est développée à la dimension urbaine, en groupements d'habitats creusés autour de puits à plan carré voisinant dans un tissu construit dense⁵². Les architectures de terre chinoises démontrent l'évidence d'une des plus grandes traditions du monde⁵³.

Images de l'architecture de terre australienne

L'histoire de l'architecture vernaculaire en terre d'Australie est assez bien décrite par des recherches éditées depuis la fin des années 70. Mais celles-ci traitent essentiellement de l'histoire moderne de ce pays⁵⁴. Les premiers établissements des colons européens furent construits en bois et torchis. L'emploi de l'adobe n'est venu qu'après, alors que la fin du XVIII^{ème} siècle et le début du XIX^{ème} siècle introduisaient le pisé grâce au rayonnement de la traduction anglaise des écrits de François Cointeraux par Henry Holland. Son texte est en effet publié en 1823, dans le *Sydney Gazette*, en deux parties, sous forme de feuillet dominical. Cette publication correspond à la fondation d'un nouvel établissement du nom de Bathurst, où les colons emploient le pisé. Cette promotion du pisé dans des périodiques, connaît une période faste et plusieurs autres articles sont publiés au cours de cette année 1823. Dans le *Hobart Town Gazette* qui rapporte que ce mode de construction a été introduit en Australie depuis l'Europe et utilisé pour la construction de quelques fermes dans la région⁵⁵. Cette introduction du pisé en Australie semble avoir aussi touché la Nouvelle Zélande où une mission catholique romaine fut construite à Kororareka, en 1841-1842. Ce bâtiment, aujourd'hui connu sous le nom de « *Pompallier House* » fut édifié sous la supervision d'un architecte français, Louis Perret, originaire de la région de Lyon⁵⁶. La deuxième moitié du XIX^{ème} siècle semble avoir popularisé le pisé dans plusieurs régions d'Australie, en Victoria où il faisait son apparition, au New South Wales et en Adelaïde, comme mode de construction reconnu qualitativement supérieure au torchis et à la bauge, ou même au « *sod* » (mottes de terre gazonnée), techniques de construction rurale dominantes à cette époque. Un constructeur dénommé William Kelly a introduit le pisé à Melbourne, en 1853, mais sans succès, car son expérimentation se soldait par quelques problèmes d'infiltration d'eau et d'érosion des murs. Il fut suivi par un certain Charles Mayes qui tenta d'améliorer le mode de mise en oeuvre en utilisant des banches métalliques. La « *Victorian Industrial Society* » offrit des prix pour la meilleure méthode de construction en pisé. Mais, au-delà de cette période, l'engouement australien pour le pisé semble avoir périclité au profit de la construction en briques de terre crue. La littérature de la fin du XIX^{ème} n'en fait plus mention. Le pisé en Australie demeure malgré tout une technique de construction actuelle car il a connu un regain d'intérêt au XX^{ème} siècle, dans les années 30, dans le milieu de communautés d'artistes puis au-delà de la Seconde Guerre Mondiale, dans les années 50. Julius Jorgensen fondait la communauté de Monsalvat, à Eltham, près de Melbourne et bâtissait sa propre maison en pisé avant d'utiliser l'adobe pour d'autres réalisations. Il était suivi par John Harcourt, journaliste anglais qui s'installait à Eltham, et devenait bâtisseur en pisé. Puis, la construction en adobe allait revenir au premier plan avec les réalisations de Alistair Knox, employé de banque passionné de construction en terre qui allait donner un style propre à l'architecture en briques crues et structures en bois par de nombreux projets encore réalisés à Eltham et plus largement dans l'Etat de Victoria. Dans les années 50, un expert des Nations Unies, ancien inspecteur de construction, G.F. Middleton, allait

⁵² Loubes, Jean-Paul, "Maisons creusées du Fleuve Jaune. L'architecture troglodytique en Chine", éditions Créaphis, 1988.

⁵³ Quelques autres repères de documentation sur l'architecture chinoise : Edwards, R. et Lin Wei-Hao, "Mud brick and earth building. The Chinese way", éditions The Rama Skull Press, Australie, 1984, 156 p. Knapp, Ronald, G., "China's traditional rural architecture. A cultural geography of common house", éditions University of Hawaii Press, 1986, 177 p. Yamasaki, Shu et Kyoto Shoin, "Discovering earth. The earth of China", éditions New Color Printing, Japon, 159 p.

⁵⁴ Deux ouvrages de référence : Lewis, Miles, « *Victorian Primitive* », Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, 1977, 87 p. Voir notamment, « *Origins of Pisé de Terre* », pp. 45-50 et « *Pisé in Australia* », pp. 51-58. Howard, Ted, « *Mud and Man. The history of Earth Buildings in Australasia* », Earth Buildings Publications, Melbourne, Australie, 1993, 198 p.

⁵⁵ Références données par Miles Lewis, in « *Victorian Primitive* », Greenhouse Publications, Carlton (Victoria), 1977, Australie, 87 p., où le *Hobart Town Gazette*, du 3 mai 1823, est référencé ainsi que le *Sydney Gazette*, vol.XI n° 1019 du 28 mai 1823. D'autres journaux de l'époque mentionnent aussi le pisé : le *Sydney Herald*, le *South Australian Register*, le *Port Phillip Gazette*, le *Port Phillip Patriote*, le *Melbourne Advertiser* et le *Port Phillip Herald*.

⁵⁶ Howard, Ted, « *Mud and Man, The History of Earth Buildings in Australasia* », op. cit.

éditer un ouvrage de grande portée nationale, véritable traité pratique de construction en pisé et en adobe, qui allait influencer un grand nombre d'architectes et ingénieurs ainsi que de très nombreux autoconstructeurs⁵⁷. Les expérimentations de Middleton, ses recherches pour améliorer les techniques de coffrage du pisé (formes en « L » pour les angles ou en « T » pour les intersections de murs), ses premières réflexions à caractère normatif, allaient amener une véritable modernité du pisé en Australie. Ce vaste pays est aujourd'hui une région phare du monde pour la réactualisation des architectures en pisé que réalisent de jeunes architectes et entrepreneurs à partir de plusieurs pôles régionaux. Par exemple, l'architecte David Oliver, établi dans le Queensland, qui a réalisé de nombreux projets d'habitat mais également d'équipement de sociétés industrielles (industrie de la bière, du vin ou du tourisme), et des bâtiments publics (écoles et collèges). Ou encore la société Ramtec, du constructeur Steve Dobson, qui a réalisé de nombreux projets d'habitat et autres bâtiments publics dans la région de Perth (*Western Australia*). Enfin, rappelons le programme d'habitat social en autoconstruction assistée qui était lancé par le "*Ministry of Housing*" de l'Etat de Victoria, au cours de la fin des années 80 et qui a été à l'origine de très nombreuses réalisations en briques d'adobe et structure en bois. Un programme gouvernemental unique en son genre dans les pays industrialisés qui connaissent une croissance de leurs populations sans-abri.

3. Au Moyen-Orient, en Afrique et au Maroc

3.1. le Proche et le Moyen-Orient

Le Levant méditerranéen, l'Irak et l'Irak

Les régions du Levant méditerranéen (Syrie, Liban, Palestine, Israël et Jordanie), et celles de l'arc Taurus-Zagros (Iran et Irak), ont été les territoires fondateurs des plus grandes civilisations de l'Antiquité. La brique crue y fut le vecteur d'un fantastique développement urbain au cours des IV^{ème} et III^{ème} millénaires avant J.C. Cette culture constructive apparaît dès les époques néolithiques, au cours du VIII^{ème} millénaire. Elle traduit une grande étape de sédentarisation des populations, avec la révolution agricole, dont témoignent des sites comme Jericho (Palestine) ou Mureybet (Syrie). L'habitat est alors implanté dans les pentes, à moitié creusé et aérien, de forme circulaire. Les parois sont dressées avec des pains de terre striés, bâtis à l'état plastique. Cette technique s'apparente à la bauge car les éléments ne sont pas liés par un mortier. Sur le site anatolien de Çatal Hüyük (Turquie), village néolithique occupé entre 6500 et 5700 av. J.C., la brique crue est utilisée en hourdage de structures en bois (soles; poteaux et poutres, portiques), dans une configuration d'habitat dense en nids d'abeilles. Les bâtisseurs de ces époques maîtrisent déjà les enduits à la chaux⁵⁸ et la polychromie murale. En Mésopotamie, l'époque de « *Hassuna* », au milieu du VI^{ème} millénaire, confirme la production organisée de briques crues. L'époque de « *El Obeid* », au début du IV^{ème} millénaire, marque le début d'une architecture de terre de caractère monumental. Ce sont des bâtiments de plan tripartite aux murs très épais et contreforts. Les plus élaborés, vraisemblablement occupés par des chefs de communautés villageoises, abritent des pièces de réunion ou de réception. De telles structures ont été excavées sur les sites de Eridu, en Irak méridional, ou de Tepe Gawra, en Irak septentrional.

La naissance de la civilisation d'Elam, sur les plateaux iraniens du Khouzestan, à partir de la fin du IV^{ème} millénaire, confirme l'établissement des premiers centres de caractère religieux annonçant les villes temples. A Khafajah, dans la moyenne vallée du Tigre, les habitations situées autour du fameux Temple Ovale, restituent des tombes voûtées construites en briques crues plano convexas. Ces voûtes sont dressées en arcs juxtaposés, inclinés, et présentent une génératrice en section brisée. Ces principes de toitures vont rapidement se généraliser à l'habitat comme le montre le site de Tell Asmar, en Irak central. C'est au passage du II^{ème} millénaire que l'horizon mésopotamien est progressivement marqué par l'édification des hautes ziggourats, grands massifs à étages construits en briques crues qui seront plus tard parés de briques cuites. Cette tradition initiée à Ur, Eridu et Uruk, en Irak méridional, se diffuse dans l'ensemble de la Mésopotamie (Assur, Samarra, Kish, Nippur, Larsa). L'un des plus beaux exemples aujourd'hui connu est le site de Tchoga Zanbil, ou « *Dur-Untash* », en Iran, à la frontière de l'Irak, au sud de Suse. Sur ce site, fondé par le roi Untash Napirisa, en 1200 av. J.C., la ziggourat qui fut fouillée par la mission française de Susiane, sous la direction de Roman Ghirshman, dans les années 60, atteste d'un système constructif très original. En effet, ce ne sont pas des plate-formes successives mais un emboîtement d'étages, comme une poupée russe. Cette ziggourat, dont les vestiges actuels s'élèvent jusqu'au troisième niveau, était dotée d'un remarquable système de drainage des eaux de ruissellement, constitué de cheneaux verticaux disposés en limite des terrasses, prolongés par des canalisations traversant l'épaisseur des massifs de terre, qui débouchaient par plusieurs sorties sur le dallage du *Temenos*. D'autres

⁵⁷ Middleton, G.F., *Build your house of earth*, Angus and Robertson, 1953, réédité par Compendium Pty Ltd, Melbourne 1975.

⁵⁸ Mellaart, James, « *Çatal Hüyük, a neolithic town in Anatolia* », éd. Thames and Hudson, Londres, 1967, 232 p.

superbes voûtes peuvent être observées sur le Palais Hypogée du quartier royal situé dans la partie sud-est du site. Ces mêmes époques, depuis la période d'« *Isin Larsa* » (2000 - 1560), ont aussi contribué à une modélisation de l'habitat urbain à étage, de disposition introvertie, organisé autour de cours intérieures. Les vestiges des maisons de la ville d'Ur en attestent. Puis, l'architecture civile comme monumentale associera progressivement la brique crue à la brique cuite, notamment au cours de la période médio-assyrienne, qui se conclura avec l'unification des royaumes de Sumer et d'Akkad par le grand roi Hammourabi, fondateur de l'empire babylonien. Sous son règne, Sargon II (729 - 705) fait édifier la ville de Khorsabad, ou « *Dur-Sharrukin* », qui est entourée d'une grande enceinte quadrangulaire abritant la citadelle dont les palais et bâtiments religieux exposent de très beaux exemples de voûtes en berceau en briques crues couvrant aussi les grandes portes de la cité. Puis, sous le règne de Sennacherib, la superbe ville de Ninive, établie sur les rives orientales du Tigre, développera ce principe des fortifications percées de portes monumentales. On en comptait quinze qui auraient été voûtées. Il ne reste pas de vestiges très lisibles de l'habitat en terre de ces époques mais des reliefs découverts à Ninive semblent évoquer des constructions rurales modestes, couvertes de voûtes surhaussées, vraisemblablement bâties en encorbellement, que l'on pourrait comparer aux habitat de la région d'Alep, en Syrie. Par suite apparaît une technique de construction tout à fait originale. Il s'agit du « *strut* » qui permet de construire des voûtes en éléments pré-moulés de terre et paille, renforcés par des petits bois, et bâtis en appui les uns contre les autres. Cette technique se substitue alors aux arcs en briques crues car la taille des éléments est plus grande et n'exige que l'emploi de trois à cinq éléments, selon la portée des voûtes. Il est ainsi possible de construire beaucoup plus rapidement. Le site de « *Tepe Nush-I Jan* », dans le Louristan (Iran), avec son Temple Central, son Temple Ouest et son Fort, atteste pour la première fois de cette technologie révolutionnaire. Vers 546, le grand roi Cyrus II fonde la cité de Pasargades, établie dans la haute plaine intérieure désertique du Fars, en Iran méridional. Les bâtiments sont édifiés sur une plate-forme, ou « *apadana* ». Leurs murs extérieurs sont encore bâtis en briques crues parés d'un revêtement de pierres agrafées. Les palais de Darius I^{er}, puis de Xerxes, à Persépolis, reprendront les mêmes principes de construction. Toutes ces techniques de construction seront largement adoptées par l'architecture populaire persane, jusque dans les régions les plus éloignées de l'empire achéménide que vaincra Alexandre le Grand. On les retrouve en Bactriane orientale, en Afghanistan (mausolée d'Al Khanoun), en Ouzbekistan-Khorezm (mausolée-forteresse de Koj Krylgan-Kala), avec un très haut degré d'élaboration (formes toriques). La période Kouchane, en Afghanistan, introduit la construction des voûtes sur plan carré puis sur plan rectangulaire. C'est la technique de la voûte en trompes d'angle, surbaissée, ou voûte dite « *balkhi* » dont témoigne merveilleusement une citerne du site de Dilberjin Tepe, en Bactriane. Les Parthes Arsacides (- 250 / + 250), continueront à utiliser largement le principe des voûtes en arceaux édifiées en « *struts* » juxtaposés. Le site de *Shahr-I Qumis*, en Iran (Damghan), en restitue de nombreux exemples pour des couvertures de petites à moyennes portées (de 80 cm à 3 mètres), sur des couloirs ou des volées d'escalier. Au-delà de ces époques parthes, les Sassanides développeront les grands iwans, prolongeant le modèle plus ancien de Ctésiphon (moyen Euphrate, non loin de l'actuelle Bagdad), et la construction des coupoles sur plan carré avec trompes d'angle.

C'est sur ces fondements d'une culture constructive en briques crues et cuites, totalement maîtrisée, que s'épanouira l'architecture de la Perse musulmane avec l'expansion de l'Islam. Les premières grandes mosquées érigées sous les Califats Omeyyades, puis l'époque des Grands Abbassides, cisèleront cet héritage des bâtisseurs persans qui sera porté au plus haut niveau d'épanouissement et de rayonnement, au seuil du XVI^{ème} siècle, avec la dynastie des Safavides. Isfahan, capitale de Shah Abbas, en est la plus spectaculaire démonstration renouvelée dans bien d'autres villes iraniennes (Shiraz, Séojane, Tabriz, Kerman). Hors la ville d'Isfahan, dans des villages entièrement bâtis en briques crues, on peut encore observer l'une des plus belles traditions de pigeonniers en terre du monde. L'Iran est sans aucun doute l'un des pays du Moyen-Orient qui témoigne d'une des plus grandes variétés des architectures de terre. On y peut toujours voir la tradition du torchis, dans la plaine littorale et sur les piémonts des bordures de la Mer Caspienne (au nord de Téhéran), comme sur les versants arides de la chaîne de l'Elbourz. Ce torchis est fait d'un mélange de terre et de tige (« *kula* ») ou de balle de riz. Mais l'adobe est sans aucun doute la culture constructive dominante d'Iran dont témoignent les habitats populaires des régions de plateau (Baghestan), de montagne, comme des régions désertiques du Sud (Khouïstan). Il existe également une tradition de la bauge qui voisine avec celle de l'adobe, dans la région d'Isfahan et dans le Khouïstan. Ce sont aussi les techniques de construction mixtes qui peuvent associer la pierre à l'adobe, très présentes dans les zones montagneuses. Les enduits traditionnels sont également fait à base d'un mélange de terre ajoutée ou non de paille. L'argile blanche, ou « *gel-é sefid* », est employée dans les régions littorales de la Mer Caspienne alors que l'argile jaune, ou « *gel-é zardi* », est employée dans les régions de l'Elbourz, tout comme le « *khâ-gel* », mélange de terre argileuse et de paille est la tradition du Khouïstan. La grande tradition des toitures iraniennes est héritée de la culture des arcs, voûtes et coupoles. On peut observer la voûte simple, en berceau, ou « *taq-o-chechmeh* », aussi déclinée en voûte de type « *bangui* » ou « *chamchiri* », dans les régions de montagne, ou la voûte navette qui progresse simultanément depuis les petits côtés de la pièce, aujourd'hui dénommée « *lili pouch* ». Ou bien des voûtes plus complexes en arêtes, croisées ou à trompes d'angle, du type « *lengheh pouch* ». Et bien sûr les voûtes sur pendentifs, ou « *dorshin* », alors que les plus spectaculaires à l'oeil sont les voûtes étoilées construites avec un maillage de nervures laissant des vides entre elles qui sont ensuite obturés par des briques. C'est la tradition du calepinage

« *yazdi-bandi* » ou des coupoles à nervures « *torkine* ». Les bâtisseurs iraniens ont aussi légué d'autres traditions extraordinaires comme celle des « *badguir* », ou capteurs à vent, qui rehaussent les habitats des plaines côtières du sud de l'Iran où le climat chaud et humide impose une ventilation des espaces. Dans la région de Yazd, ces « tours à vent » sont parfois séparées de la maison et reliées au sous-sol par un tunnel qui apporte l'air frais. Cette maîtrise du confort thermique des maisons en terre iraniennes peut être aussi observée dans les régions d'altitude, de plateaux élevés, où les habitats sont adossés aux pentes des terrains, le logement étant élevé au-dessus d'une étable, source de chaleur. Les vents froids passent au-dessus de cet habitat aux toitures plates de terre, de morphologie écrasée. Ces étales sont parfois enterrées et sont aérées par de petits lanterneaux en forme de coupoles visibles sur le sol naturel. Quelle leçon d'architecture que celle donnée par les plus belles villes historiques comme par les plus humbles habitats populaires d'Iran. Mais n'oublions pas l'un des plus prodigieux sites de ce pays, la cité fortifiée d'« *Arg-é Bam* », fondé aux époques sassanides, localisée à environ 200 km au sud-est de Kerman. Site d'oasis fascinant, cerné par le désert, et qui fut l'une des villes étapes de la Route de la Soie reliant l'Iran à Samarkand. Aux pieds de l'extraordinaire citadelle à murailles crénelées flanquées de tours rondes massives, aujourd'hui restaurées, avec ses superbes étales couvertes de coupoles, s'étend une ville totalement ruinée aux voûtes et coupoles d'adobe éventrées ou effondrées. Le temps semble s'être arrêté sur cette cité qui fut souvent attaquée par les Afghans et finalement abandonnée en 1850. Qui a oublié les superbes images du « Désert des Tartares » ?

La péninsule arabique

Le développement de brillantes civilisations, dès le I^{er} millénaire av. J.C., qui fondaient leur prospérité sur le commerce des épices et de l'encens avec l'Égypte, la Mésopotamie, les royaumes d'Afrique orientale (Méroé, Koush, Axoum, Napata), puis avec Rome, donnait naissance à plusieurs royaumes issus des tribus sédentaires des hauts plateaux yéménites : Saba, Qataban, Main, Hadramaout, Himyar. L'histoire plus récente témoigne d'un processus d'islamisation à partir du VII^{ème} siècle de notre ère. Les Califats Omeyyades de Damas, puis les Abassides de Bagdad, ont essayé de contrôler ces territoires lointains mais, dès le IX^{ème} siècle, plusieurs régions de l'actuel Yémen échappent au pouvoir des Califes. En 898, Ali, gendre du Prophète, fonde la dynastie des imams Zaydites qui perdurera jusqu'au début des années 60 de ce siècle. L'ensemble de cette région méridionale de la péninsule arabique témoigne d'une culture constructive de la brique de terre crue très élaborée originaire du Royaume de Saba. Le patrimoine architectural du Yémen, dans la vallée de l'Hadramaout, démontre cet accomplissement de la culture de la brique crue. Les cités de Shibam, Tarim, Qasam et Say'un, en sont les plus magnifiques exemples. L'origine de l'architecture de Shibam et de Tarim, que l'on peut observer aujourd'hui, remonte au début du XII^{ème} siècle ap. J.C., inaugurant l'installation des familles Alawi Sayyids qui immigraient depuis l'Irak. Beaucoup de beaux ouvrages ont vanté les caractères de cette si belle architecture de terre de la vallée de l'Hadramaout⁵⁹. Superbe cité de Shibam où cohabitent dans un tissu serré des immeubles dressés en briques de terre sur plusieurs étages, avec leurs murs bruns, jaunes, orangés, rehaussés de blanc dans leur partie haute, aérienne, généralement occupée par les pièces de séjour, afin de réfléchir la lumière solaire et sa chaleur. Magnifiques minarets élancés (al Mihdār, Bā Alawi) et coupoles de Tarim, plus blanche encore, avec ses mosquées aux arcatures chaulées, où les artisans toujours à l'œuvre refont périodiquement les enduits de terre et construisent d'autres maisons en adobe.

Au Sultanat de Oman existe une tradition de construction en briques de terre de forme conique qui a merveilleusement servi la construction d'établissements humains situés dans des oasis accueillants, protégés par des citadelles impressionnantes. Le fort de Bahla, dont l'origine est située aux époques sassanides tardives du VI^{ème} siècle, situé à l'intérieur du pays au-delà du Djebel Hadjar, avec l'oasis délimité par un mur d'adobe de 12 km percé de grandes portes, sont classés au Patrimoine de l'Humanité. C'est l'un des plus beaux exemples de cette architecture des forts omanais (Nakhl, Bid-Bid, Nizwa, Jabreen). Ce site extraordinaire est actuellement préservé grâce à un protocole de coopération entre le Sultanat et le Maroc dont les architectes conservateurs et les équipes de « *maâlems* » et de maçons se sont succédées au cours de ces dernières années, prolongeant une coopération italienne pour restaurer et mettre en valeur ce patrimoine des forts omanais⁶⁰.

⁵⁹ Parmi ceux-ci, Costa, Paolo et Vicario, Enrico, « *Yemen, Land of Builders* », Academy Editions, Londres, 1977, 184 p., et Damluji, Salma Samar, « *The Valley of Mud Brick Architecture* », Garnet Publishing Ltd, Reading, UK, 1992, 472 p. Voir aussi, Hirschi, Suzanne et Max, "L'architecture au Yémen du Nord", Coll. Architectures, éditions Berger-Levrault, Paris, 1983, 347 p.

⁶⁰ Quelques repères documentaires sur le Sultanat de Oman : Stevens, André, « Oman. Citadelles entre sable et mer », éditions Terra Incognita, Bruxelles, 1990, 80 p. Et « *Sites and Forts of Oman. Pre-inventory of the architectural heritage. Figures* », éditions ICOMOS/UNESCO, Paris, 1985, 33 p. Biancifiori, M.A., « *Biancifiori Works of architectural restoration in Oman* », éditions De Luca, Italie, 1994, 192 p

3.2. l'Afrique

Les savoir-faire des bâtisseurs en terre africains sont aujourd'hui menacés de disparition. C'est le cas du façonnage direct, en nette régression, ou encore de l'emploi des briques crues coniques (« *tubalis* » du Nigeria, « *Djenné Ferrey* » du Mali) qui ont totalement disparu des pratiques de construction. De même pour d'autres cultures constructives originales, comme celle des cases-obus de l'ethnie *Mousgoum* du Nord Cameroun et du Tchad, de part et d'autre du fleuve Logone, avec leurs striages « pose-pieds ». Fort heureusement, beaucoup de pays africains manifestent aujourd'hui leur souci de conserver leur patrimoine architectural et de le mettre en valeur. Le programme « Africa 2009 », piloté par le Centre du Patrimoine Mondial de l'Unesco, y contribue activement. Par ailleurs, le développement de projets d'habitat et d'équipement social ou éducatif des communautés font appel au matériau terre et réactualisent les pratiques traditionnelles du « *banco* » ou de l'adobe, promeuvent l'emploi des blocs de terre comprimée ou des modes de construction mixtes associant les matériaux traditionnels et nouveaux.

Les habitats traditionnels de la région soudano-sahélienne, au sud du Sahara, sont connus grâce à une documentation des époques coloniales européennes (portugaises, hollandaises, françaises et anglaises) et les recherches développées au cours de ce XX^{ème} siècle ont actualisé cette documentation. Tel est le cas pour les grandes villes historiques et les mosquées de la région du *Sahil*, au Mali (Tombouctou, Djenné, Mopti), ou pour les établissements des *Dogon* (falaise de Bandiagara), pour les habitats *Gouroussi*, *Kassena*, *Mossi*, *Lobi* et *Puguli* du Burkina Faso ⁶¹, pour la culture *Haoussa* du Niger et du Nigeria ⁶², ou pour les temples des *Asante* du Ghana.

Les recherches archéologiques menées sur les territoires d'Erythrée et d'Éthiopie témoignent d'une grande richesse des échanges culturels avec l'Arabie sud-occidentale, dès le II^{ème} millénaire av. J.C., qui se sont intensifiés entre le I^{er} millénaire av. J.C. et le I^{er} millénaire ap. J.C. Mais il ne reste que peu de vestiges du Royaume Éthiopien de Méroé qui a précédé celui d'Axoum. Ceux-ci n'ont pas ignoré la brique de terre crue pour l'édification de leur architecture civile comme en témoignent encore les deux « *diffala* » de Kerma, en Nubie soudanaise (Koush) ⁶³. La terre crue a été le matériau privilégié des constructeurs égyptiens, dès le IV^{ème} millénaire av. J.C., dans le delta du Nil (Merimdé, Beni, Salama) et l'oasis du Fayoum. C'étaient alors des cabanes rondes en branches, végétaux et torchis. La brique crue, introduite vers la fin de ce IV^{ème} millénaire, à partir d'influences proche-orientales, allait devenir l'un des matériaux d'excellence de la construction civile égyptienne, même au delà du processus de pétrification de l'architecture monumentale et palatiale qui s'opérait très vite, à partir de l'Ancien Empire (2660-2180 av. J.C). Tant de sites archéologiques d'Égypte du Nouvel Empire (1552-1070), comme la cité ouvrière de Deir el-Medineh, sur la rive occidentale de Thèbes, ou la nouvelle cité royale de Tell el-Amarna, fondée par Aménophis IV en 1375 av. J.C., les greniers du Ramesseum de Louxor (XIX^{ème} Dynastie, Ramses II), témoignent de l'épanouissement de cette culture de la brique crue qui n'a pas cessé d'être employée jusqu'à nos époques contemporaines, revalorisée par le grand Hassan Fathy avec la construction du nouveau village de Gourna⁶⁴. On ne peut présenter ici tous les aspects des architectures de terre africaines, d'une grande diversité, et qui ont considérablement évolué au cours de la fin du XX^{ème} siècle. Des tentatives de synthèse ont été faites qui gardent toujours un grand intérêt⁶⁵,

Le Nigeria abrite de grandes traditions que déclinent les architectures des émirats du nord, fondées sur le legs des cultures haoussas et du fameux « *Bakwai* » des Cités-Etats, Gobir, Daura, Biram, Kano, Rano, Zaria, Sokoto, qui affirmaient leur puissance politique et économique entre les XI^{ème} et XVI^{ème} siècles. Ce sont les fameuses architectures en briques « *tubalis* » (coniques) couvertes de dômes, ou voûtées, en terre armée de petits bois d'« *azara* », seul bois de construction local imputrescible et résistant aux termites, mais disponible en sections droites très courtes. Il s'agit d'une culture constructive d'exception qui est malheureusement en voie de disparition car les rares vieux maîtres-maçons qui

⁶¹ Un ouvrage de référence sur ce pays : Bourdier, J.P. et Trinh, T. Minh-Ha, « *African spaces. Designs for living in Upper Volta* », African a Publishing Company, Holmes and Meir, New York, Londres, 1985.

⁶² Dmochowski, Zbigniew, « *An Introduction to Nigerian Traditional Architecture* », Vol. I, « *Northern Nigeria* », Vol. II, « *South-West and Central Nigeria* », Vol. III, « *Eastern Nigeria* », édition Ethnographica et National Commission for Museums and Monuments, Londres-Lagos, 1990.

⁶³ Voir Fattovich, R., « L'Éthiopie et les royaumes sud-arabiques », in « *Archéologie, cultures et civilisations du passé en France et dans le monde* », éditions Nathan, Paris, 1980, 648 p.

⁶⁴ Quelques repères documentaires sur l'œuvre de Hassan Fathy : Fathy, Hassan, « *Construire avec le peupleé* », Bibliothèque Arabe, éditions Sinbad, Paris, 1970, 310 p. et 132 planches photographiques et dessins. Steele, James, « *Hassan Fathy* », Architectural Monographs, Academy Editions / St. Martin's press, Londres, 1988, 149 p. Richards, J.M., Serageldin, I. et Rastorfer, D., « *Hassan Fathy* », éditions Mimar, Concept Media Pte Ltd., Singapour, 1985, 172 p.

⁶⁵ Denyer, Susan, « *African Traditional Architecture* », éd. Africana Publishing Company, Holmes end Meier Publishers, Inc., New York, 1978, 210 p.

en gardaient jusqu'alors le secret, et la maîtrise, l'emporte avec eux en mourant. Cette culture des bâtisseurs haoussas est remarquable d'intelligence et de beauté d'expression architecturale. Une fois les murs en « *tubalis* » dressés, on construit les toitures en forme de petites coupoles surbaissées dont la forme résulte de la superposition de ces petits bois d'« *azara* », disposés à partir des angles des pièces et en recouvrements successifs. Pour les grands palais des émirs, ce sont de véritables voûtes structurées à partir de grands arcs de terre armée constituant de véritables maillages multidirectionnels. Ces réseaux d'arcs reçoivent ensuite d'autres petits bois qui seront recouverts d'un enduit de terre et de paille. Une autre grande culture constructive en terre du Nigeria est celle des architectures yorubas des régions orientales du pays. Dans la ville d'Ilorin, jusque dans les années 60, demeuraient les grands principes de l'urbanisme yoruba : un tissu très dense de vastes habitats organisés autour d'immenses cours-*impluvia* centrales. Dans les plus beaux palais yorubas, ces cours étaient entourées de larges vérandas soutenues par des colonnes en bois sculpté, polychrommes. Les toitures en chaume sont aujourd'hui remplacées par des tôles d'acier rougies par les pluies tropicales. Il faut aussi évoquer la grande tradition des maisons et des palais de Benin, dans les régions du sud-ouest du pays. Là encore, on observe de grandes cours-*impluvia* entourées de colonnes massives reliées entre-elles par d'épais linteaux de terre armée de bois. Dans les plus vastes demeures, véritables labyrinthes où l'on peut se perdre, la succession des patios, également autels des cultes animistes, sont autant de puits de lumière. Leurs murs de bauge dressés en terre latéritique, de couleur très rouge, présentent des cannelures horizontales qui ralentissent les écoulements des eaux de pluie et maintiennent aussi la fraîcheur par leurs ombres portées. Mais encore, la tradition du groupe *Igbo* dans l'Est et le Sud-est. Maisons toutes de bauge avec leurs entrées ostentatoires en forme de véranda sur piliers massifs introduisant vers une petite cour-*impluvium* légèrement décaissée dans le sol de façon à ce que les petites pièces qui l'entourent soient protégées des inondations. Et aussi, les établissements des *Tiv*, dans les régions plus septentrionales, en remontant vers le pays haoussa, qui sont constitués d'un groupement ouvert de cases rondes avec un mur-bahut périmétrique, totalement aveugle (à l'exception de l'entrée), supportant une haute toiture en chaume débordante et soutenue par des poteaux en bois. Cette disposition contribue à maintenir une ambiance lumineuse tamisée qui s'oppose à l'éclat de la lumière extérieure et le pourtour ombragé maintient la fraîcheur pendant que la chaleur ambiante du jour s'échappe par le sommet du cône de chaume.

Les architectures de terre du Burkina Faso, sont aussi remarquables. Les concessions des « *Gourounsi Puguli* » sont édifiées en boules de terre accumulées en couches successives. Mais ces maçonneries de terre ne sont pas porteuses. Ce ne sont en effet que des cloisons délimitant un tissu très dense d'espaces distribués par de longs corridors. La structure porteuse de la toiture plate est constituée de poteaux en bois fourchus reprenant des poutres, fichés dans le sol et complètement indépendants des cloisons de terre. Les pièces, de forme plus ou moins rectangulaire ou oblongue, dont le nombre augmente selon la taille du groupe occupant la concession, sont sombres et noircies par la fumée des foyers qui ne s'échappe que par de petits trous ménagés en toiture, recouverts de poteries. L'habitat des « *Gourounsis Nankani* » est très différent. Ce sont des concessions plus compactes aux espaces de forme arrondie joints entre eux par de petits murs d'enclos. Les parois de bauge sont minces, de 25 à 30 cm, et les toitures plates sont aussi soutenues par des poteaux de bois indépendants des murs définissant la morphologie de l'espace. L'accès intérieur dans chacune de ces cases se fait par une entrée en arc, très basse, où l'on butte sur un mur obligeant à passer par les côtés. Système de défense qui permettait de voir sans être vu. Vues de l'extérieur, ces concessions *nankanis* semblent être de petites forteresses refermées sur elles-mêmes. L'eau des toitures est évacuée par des trous ménagés à la base des acrotères et les façades extérieures, aveugles, sont superbement décorées de motifs géométriques en forme de striages qui aident aussi à diviser le ruissellement de l'eau. Les habitats des « *Gourounsis Kassena* » sont plus spacieux que ceux des *Nankani* et font alterner des volumes arrondis et rectangulaires également reliés entre eux par de hauts murs clôturant la concession. Cette évolution vers la morphologie rectangulaire est récente et contribue à une cohabitation des toitures coniques en chaume et des toitures plates en terre. Les décorations extérieures des habitats *Kassena* sont traditionnellement faites de motifs triangulaires, de couleur noire. Enfin, l'habitat des « *Lobi* », dans le sud-ouest du Burkina Faso, mérite une attention particulière. Ce sont aussi des concessions aux formes très organiques, résultant du principe de construction en couches de bauge qui définissent des cloisonnements aux formes assez libres. Là encore, la toiture est indépendamment portée par des poteaux de bois recevant poutres et petites branches, puis écorces, végétaux et terre. L'originalité de la culture constructive des *Lobi*, réside dans le principe d'une maçonnerie de terre dont les couches vont s'amenuisant en épaisseur, au fur et à mesure que l'on dresse les murs, et sont armées entre elles par des cônes d'argile dure que le bâtisseur dresse aussitôt que chaque levée de bauge a été bâtie. Tous les détails de cette architecture des *Lobi* traduisent une grande intelligence de l'utilisation du matériau terre, avec des dispositions destinées à contrôler l'érosion des pluies telles que masse d'usure en saillie au pied des murs évasés, renforcement des enduits au passage des gargouilles de toiture, ou stabilisation des parties les plus exposées, comme les acrotères, par l'ajout à la terre de produits naturels ayant une action de consolidation (jus de Néré). Ce sont parmi les plus beaux exemples de l'architecture de terre africaine qu'une littérature abondante a su valoriser. Elle en conserve désormais la mémoire de ses formes intègres aujourd'hui en transformation, voire disparition.

3.3. Introduction à l'architecture en terre du Maroc

Quand la tradition nourrit la modernité

Est-il plus belle architecture de terre au monde que celle du Maroc qu'il me fut donnée de découvrir au début des années 80, mon désir de connaissance alors attisé par les si beaux dessins aquarellés du carnet de voyage d'Eugène Delacroix ? Si je fondais ma passion pour ces architectures bâties avec la terre seule, aux Etats-Unis d'Amérique, en découvrant en 1974 les pueblos des indiens Anasazis et Hopis du Nouveau Mexique et d'Arizona (Taos, Acoma), ce sont les ksour et les kasbas des vallées du Drâa et du Dades qui ont confirmé un engagement durable en faveur d'une renaissance de la construction en terre pour l'habitat et pour la conservation des patrimoines architecturaux, archéologiques et historiques, en terre crue. « *Il crudo* » comme aiment à le dire les italiens ; un Eugenio Galdieri qui nous donnait à lire et à voir ces « merveilles » dans son ouvrage prenant depuis lors une valeur avant-gardiste sur ce propos récent de revalorisation culturelle. En 1983, notre équipe CRATerre engageait une coopération avec des architectes marocains, Abderrahmane Chorfi, Abderrahim Sijelmassi, Malak Laraki et Abdelkader Chekkouri, qui furent, avec le concours de l'Erac-Tensift, et de son directeur, Mohamed Alami Nafakh Lazraq, avec l'association « GAITerre » (Groupement des architectes et ingénieurs - terre) de Marrakech, les fers de lance d'un nouveau projet de valorisation de l'architecture en terre marocaine. Ce projet de logements pilotes réalisés à Hay al Massira (Marrakech) et Aït Ourir, dans le cadre d'une coopération entre le Maroc et la France, associait des institutions marocaines - le Ministère de l'Habitat, la Direction du Contrôle Technique de la Construction (DCTC), le Laboratoire Public d'Etudes et d'Essais (LPEE) - et Françaises - le Plan Construction, le programme interministériel REXCOOP (Recherches Expérimentales en Coopération) -. Des architectes français ayant conçu les logements du « Domaine de la Terre » de Villefontaine (Isère), opération phare de l'époque, collaborèrent avec des architectes marocains pour concevoir des logements représentatifs des techniques de construction en terre réactualisées (bloc de terre comprimée stabilisée, pisé), et de systèmes constructifs inspirés des cultures anciennes (planchers à voûtains, arcs, voûtes et coupes). Le projet bénéficiait alors de circonstances favorables. Une dynamique internationale activée par l'itinérance de l'exposition du Centre Georges Pompidou de Paris, « Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire », conçue par l'architecte-urbaniste Jean Dethier ayant lui aussi fondé sa passion au Maroc à la fin des années 60 alors qu'il était coopérant au sein du Centre d'Etudes Recherche et Formation, (CERF), de la Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat du Ministère de l'Intérieur du Maroc. Et aussi, les visites du « Domaine de la Terre », par de nombreuses délégations étrangères, dont l'Erac-Tensift. Une période qui annonçait les réalisations architecturales d'excellence de l'architecte marocain Elie Mouyal, comme la maison Dana ou la maison-atelier du peintre Farid Belkhalia (avec A. Sijelmassi, 1984), prolongées par les maisons Grange et Berdugo (1985), puis les maisons Foissac et Marcilhac (1987). Celui-ci allait redonner ses lettres de noblesse à l'architecture en pisé et en adobe, superbement associée au bloc de terre comprimée, à la brique cuite et au « *taddelakt* », à la culture millénariste des voûtes, des coupes sur trompes et pendentifs, à la rigueur de la composition géométrique, tout en étant ludique et créatif. Ces villas de la Palmeraie de Marrakech remettaient en pleine lumière le grand art des bâtisseurs pré-islamiques puis islamiques d'autres horizons lointains (des Sassanides aux Safavides, en Iran, par exemple), en un style personnel et syncrétique intégrant aussi d'autres apports des cultures méditerranéennes (Egypte, Grèce antique, Rome). Mais on doit rappeler que ce regain des architectures de terre marocaines, en ce début des années 80, prolongeait des efforts et des projets antérieurs, développés au cours des années 60 et 70 par le CERF, qui fut novateur en réalisations d'avant-garde (Daoudiat, 1962, Ouarzazate, 1967), et à l'origine d'une activité de publication sur la construction en terre, sans précédent au monde à cette époque, soutenue par le Ministère de l'Intérieur du Maroc. Un effort qui se nourrissait de travaux scientifiques plus anciens d'un Robert Montagne, à la fin des années 20, sur les villages et kasbas berbères, puis d'un Henri Terrasse, « Kasbas berbères de l'Atlas des oasis - Les grandes architectures du Sud marocain » (1938), illustré par des photographies de l'auteur et des dessins de Théophile-Jean Delaye, ou encore les études monographiques de Dj. Jacques-Meunié sur les habitats de l'Atlas et du Dades, dans les années 50. Ce sont bien ces chercheurs, qui ont redécouvert les superbes kasbas et ksour des montagnes et des grandes vallées présahariennes, à qui il faut rendre encore hommage. Il faut aussi rappeler la collaboration de l'Unesco avec le gouvernement marocain, au début des années 70, qui engageait un grand projet de protection et de mise en valeur de ces architectures de terre alors en péril. Mais il fallut attendre 1987 pour que le ksar des Aït Benhaddou fût classé au Patrimoine mondial. Combien de kasbas, ksour et tighremts en pisé, flanqués de leurs élégantes tours de défense aux si belles modénatures d'adobe et niches en arcs à encorbellement, ont souffert des affres du climat et du temps pour avoir été abandonnées et donc mal entretenues. Combien d'hommes passionnés de ces architectures de terre, comme l'architecte genevois Jean-Louis Michon, qui a conçu une méthode d'inventaire du patrimoine architectural marocain et qui fut à l'origine du « Centre de Conservation et de Réhabilitation des Kasbas du Sud », (CERKAS), fondé en 1986, sous tutelle du Ministère des Affaires Culturelles du Maroc, avec l'aide du Programme des Nations Unies pour le Développement, (PNUD) ; ou les architectes-urbanistes belges Michel Deleenher et Jean Hensens, le grenoblois Claude Beurret ayant si souvent arpenté les sentiers du Haut-Atlas, et bien d'autres encore, n'ont-ils pas œuvré avec opiniâtreté et passion égale pour contribuer, avec leurs

homologues marocains tels Saïd Mouline, A. Hammoudi et A. Harouchi, à la promotion de la construction en terre pour l'habitat populaire et à la sauvegarde du prestigieux patrimoine des ksour et kasbas du Maroc ? Depuis lors, le relai a été pris par les services iduans des institutions culturelles marocaines et par les architectes nationaux, avec le concours des enseignants et chercheurs, des étudiants de l'Ecole d'Architecture de Rabat, pour continuer l'inventaire. Cette nouvelle génération s'inquiète à son tour de la conservation de la mémoire architecturale du Maroc.

Au delà de Marrakech s'étend le si beau pays des grandes kasbas de commandement des anciens caïds où Tazzerte, Asni, Telouet, Tifoultout, sont de purs joyaux annonçant le ksar des Aït Benhaddou et le carrefour des routes vers les Aït Hammou et Zagora, par la vallée du Drâa, ou vers Boulmane et les Aït Arbi, par la vallée du Dades. Je me souviens des émotions que m'ont réservées mes déambulations émerveillées dans les oasis et la contemplation de ces architectures de terre des vallées présahariennes que j'ai visitées avec un bonheur sans égal. A Skoura, oasis à l'entrée de la vallée du Dades, avec mon ami Patrice Doat, nous posons les bases d'une étude sur les pathologies des architectures en pisé préparant d'autres recherches et fondant un engagement dans la problématique de la conservation des patrimoines. Dans cet oasis, nous fûmes nourris du savoir-faire de ces géniaux bâtisseurs qui ont fortifié nos engagements partagés depuis lors au sein du CRATerre-EAG et par de plus en plus nombreux professionnels se dévouant à cette belle cause du renouveau et de la sauvegarde des architectures de terre dans le monde. Consultants de l'Unesco, avec Jean-Louis Michon, sur le projet de conservation et de mise en valeur du fort et de l'oasis de Bahla (site du Patrimoine Mondial), entrepris au Sultanat de Oman par le « *Ministry of National Heritage and Culture* », nous avons travaillé avec des architectes-conservateurs marocains, Mohammed El-Alaoui et Taoufik Ouzgane, et une équipe de maçons également marocaine, œuvrant dans le cadre d'un protocole de coopération entre Oman et le Maroc. Ils réalisent un travail d'excellence. Dès lors revenus dans leur pays et réaffectés à la Direction du Patrimoine, ils ne manqueront pas, après avoir donné plusieurs années de leur vie et leur énergie à la conservation de ce si beau patrimoine architectural en terre omanais, après avoir consolidé une compétence de conservateur des architectures de terre, d'être associés à leurs collègues marocains pour mettre leur savoir au service de la conservation et de la mise en valeur des ksour, kasbas et douars en pisé du Maroc. Ainsi se tissent des liens, se confirment des vocations, se répercutent et s'amplifient des résonances, entre les patrimoines architecturaux en terre du monde entier qui déclinent en une richesse exceptionnelle de styles et de formes, de textures et de chaudes couleurs, les génies des lieux et des cultures constructives de l'humanité, nous ancrant dans la mémoire collective universelle d'un des plus bel art de bâtir qui soit. Celui qui est initié à cet art, invité à parcourir la terre pour s'en fortifier l'âme et demeurer humble devant tant de beauté, puis confirmé dans une inclination irrésistible à travailler sur les architectures de terre, est à n'en point douter, un homme heureux. Il faut connaître ce beau pays accueillant qu'est le Maroc où les terres argileuses et sableuses ont été modelées en briques de boue séchées au soleil, en « *amaras* » de « *leuh* » (pisé), terre tassée au « *al marcaze* » (pisoir) dans des coffrages en bois par les « *maâlems* », pour édifier les demeures de l'homme. Il ne serait pas sage d'occulter le souvenir de ce grand art de construire car bâtir en terre se conjuguera encore au futur. Le passé est une ressource vitale de l'homme pour projeter son avenir comme l'écrivait la philosophe française Simone Weil dans « *l'Enracinement* ». Mais aussi, comme le déclarait Abderrahim Sijelmassi, à l'occasion d'une rencontre d'architectes organisée à Silves, ancienne capitale musulmane de l'Algarve (Portugal), à l'automne de 1992, autour de la problématique du « *Bâtir en terre en Méditerranée* » : « *l'utilisation des matériaux locaux met l'architecte - dans le champ disciplinaire qui est le sien - dans une posture créative qui nécessairement doit dialoguer avec l'histoire, c'est à dire, qui doit se soutenir de la mémoire des pratiques et des savoir-faire anciens. Si l'on ajoute à cela les promesses actuelles de la technique, l'on pourra disposer d'une richesse de registres propres à favoriser l'émergence d'une architecture de qualité. (...) L'avenir de l'architecture est aussi dans son passé.* » Qui ne l'a pas aussi bien démontré que ces architectes visionnaires et créatifs reconstruisant en terre dans le monde entier, en Afrique, en Europe, aux Amériques, en Asie, en Australie, depuis ces 30 dernières années ? Ce qui fut un « mouvement alternatif », l'expression du développement des « technologies appropriées » répondant aux rêves de la « contre-culture » de la fin des années 60 et des années 70, pourrait bien prendre une ampleur considérable au passage de ce troisième millénaire. Car beaucoup d'hommes de la planète, majoritairement démunis, ont peut-être plus que jamais besoin de la terre pour édifier leur habitats et garder toute leur dignité. Mais aussi parce que la terre permettra encore de faire œuvre de belle architecture. Là où l'inéluctabilité du « grand » étendra ses monades urbaines en d'orgueilleuses verticalités, et l'horizontalité tentaculaire de tissus d'habitat individuels cloisonnés générant davantage d'isolement et sans doute de violence, l'échelle du « petit » et le matériau terre ne pourraient-ils pas encore être la mesure du « beau » et de l'homme solidaire dans une perspective de projection architecturale et urbaine recréant l'histoire ? Les kasbas, ksour et douars du Maroc, l'histoire pionnière de ce pays mobilisé en position d'avant-garde au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle pour un renouveau des architectures de terre, nous donne un exemple, nous invite à suivre cette direction sans doute salutaire.

BIBLIOGRAPHIE

- Alberti 1553** : ALBERTI, L.B. (1404-1472), in *De Re Aedificatoria*, traduction de J. Martin, Paris, 1553, pp. 48-49.
- Aurenche 1985** : AURENCHE, Olivier - *Du village à la ville*, in le Grand Atlas de l'Archéologie, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 168-169.
- Baldacci 1958**: BALDACCI, Osvaldo - *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*, Revista Geografica Italiana, LXV, 1958.
- Barber 1805**: BARBER, William - *Farm Buildings*, 1805.
- Bardagot et al 1991** : BARDAGOT, A.M. - *L'intelligence de l'Europe et le développement de l'habitat économique en terre des années 20 à nos jours*, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Ecole d'architecture de Grenoble, CRATERRE-EAG, mai 1991, 89.
- Barozzi 1993**: BAROZZI, Pietro - *Le trunere della Frasceta nella piana di Alessandria*, Revue de géographie italienne, 1993.
- Bertagnin 1987** : BERTAGNIN, Mauro, « *L'architecture de terre en Italie : connaissance et réhabilitation d'un patrimoine typologique et technologique méconnu* », in « le Patrimoine Européen Construit en Terre et sa Réhabilitation », colloque international MELATT, ENTPE, Université Jean Moulin Lyon III, Mars 1987, 583 p., pp. 219-253.
- Bertagnin 1999**: BERTAGNIN, M. - *Architettura di terra in Italia*, EDICOM edizioni, Monfalcone (Gorizia), 1999, 319 p..
- Besenal 1984** : BESEVAL, Roland, CNRS - *Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 1*, 196 p. et *Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 2*, 224 planches, synthèse n°15, éditions Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984.
- Biancifiori 1994**: BIANCIFIORI, M.A. - *Biancifiori Works of architectural restoration in Oman*, éditions De Luca, Italie, 1994, 192 p
- Bloch 1962 (rééd.)** : BLOCH, Marc - *Les caractères originaux de l'Histoire Rurale Française*, éditions Armand Colin, réédition, Paris, 1962.
- Bourdier et Trinh 1985** : BOURDIER, J.P., TRINH, T. Minh-Ha - *African spaces. Designs for living in Upper Volta*, African Publishing Company, Holmes and Meir, New York, Londres, 1985.
- Brunhes 1962** : BRUNHES, Jean - *La Géographie Humaine*, éditions Puf, Paris, 1956.
- Brunskill 1971-76-78**: BRUNSKILL, R.W. - *Illustrated Handbook of Vernacular Architecture*, éditions Faber and Faber, Londres, Boston, 1971, 1976 et 1978, 249 p..
- Brunskill 1974**: BRUNSKILL, R.W. - *Vernacular Architecture of the Lake Counties*, éditions Faber and Faber, Londres, 1974, 164 p.
- Bunting et al. 1964**: BUNTING, B., BOOTH, SIMS, Jr. - *Taos Adobes. Spanish Colonial & Territorial Architecture of the Taos Valley*, éditions du Fort Burgwin Research Center, Inc., 1964, réédition en 1975, 80 p.
- Bunting 1976**: BUNTING, Bainbridge - *Early Architecture in New Mexico*, University of New Mexico Press, Albuquerque, 1976, 122 p.
- Cody 1985**: CODY, Jeffrey William - *Earthen Wall Construction in the Eastern United States*, Master of Arts, Graduate School of Cornwell University, Juin 1985, 460 p.
- Cointeraux 1790**: COINTERAUX, François - *École d'architecture rurale et économique*, Paris, Imprimerie N.H. Nyon, 1790, 2 p.
- Cointeraux 1791**: COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule*, Paris, 1791.
- Cointeraux 1791**: COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; deuxième cahier dans lequel on traite de l'art du pisé ..., des qualités des terres propres au pisé ..., des détails de la mise en oeuvre, du prix de la terre*, 76 p. illus., Paris, 1791
- Cointeraux 1791**: COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils ..., 68 p.*, Paris, 1791.
- Conrad 1840**: CONRAD, Ernst - *Veder den Pisé-Bau*, Kretschmar, Chemnitz, 1840.
- Costa et Vicario 1977**: COSTA, Paolo et VICARIO, Enrico - *Yemen, Land of Builders*, Academy Editions, Londres, 1977, 184 p.
- Crova 1934**: CROVA, B. - *Case rurali attraverso i secoli*, Difesa Sociale, XIII, n°9, 499 p., Rome, 1934.
- Cusenier et al 1977 – 1983** : CUSENIER, Jean (dir.) - *L'architecture rurale française. Corpus des genres, des types et des variantes*, Musée des Arts et Traditions Populaires, Berger-Levrault, éditeur, Paris, 1977-1983. 22 volumes.
- Damluji 1983**: DAMLUJI, Salma Samar - *The Valley of Mud Brick Architecture*, Garnet Publishing Ltd, Reading, UK, 1992, 472 p.
- Deffontaines 1956** : DEFFONTAINES, Pierre - *L'Homme et sa Maison*, éditions NRF Gallimard, Paris, 1972.
- Delorme 1745** : DELORME, G.M. - *Mémoire pour la construction des murs en terre*, lu le 17 mars 1745 à Amiens, à l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon.
-

- Del Rosso 1793:** DEL ROSSO, Giuseppe - *Dell'economica costruzione delle case di terra*, Presso J.A. Bouchard, Florence, 1793, 75 p. et 4 planches tirées de Cointeraux.
- Demangeon 1938 :** DEMANGEON, Albert - *Types de peuplement rural*, Annales de Géographie, Paris, 1938.
- Demangeon 1920 :** DEMANGEON, Albert - *L'habitation rurale en France*, Géographie Universelle, éditions Armand Colin, Tome VI et Annales de Géographie, XXIX, 1920, pp. 352-375.
- Denyer 1978:** DENYER, Susan - *African Traditional Architecture*, , éd. Africana Publishing Company, Holmes and Meier Publishers, Inc., New York, 1978, 210 p.
- Dmochowski 1990:** DMOCHOWSKI, Zbigniew - *An Introduction to Nigerian Traditional Architecture*, Vol. I, « Northern Nigeria », Vol. II, « South-West and Central Nigeria », Vol. III, « Eastern Nigeria », édition Etnographica et National Commission for Museums and Monuments, Londres-Lagos, 1990.
- Doyon et Hubrecht 1942 et 1979 :** DOYON Georges, HUBRECHT, Robert, *L'architecture rurale et Bourgeoise en France*, éditions Dominique Vincent et Cie, Paris, 1942, 4ème édition en 1979, 521 p.
- Duby 1980 :** DUBY, Georges - *L'économie rurale et la vie dans les campagnes de l'Occident*, 2 tomes, Paris, 1962
- Duby et Wallon 1980 :** DUBY (dir.), Georges, WALLON, Armand - *Histoire de la France Rurale*, Tomes 1, 2 et 3, éditions du Seuil, Paris, 1979-1980.
- Dunzhen 1980 :** DUNZHEN, Liu - *La maison Chinoise*, éditions Berger-Levrault, Paris, 1980.
- Edwards et Lin 1984 :** EDWARDS, R., LIN, Wei-Hao - *Mud brick and earth building. The Chinese way*, éditions The Rama Skull Press, Australie, 1984, 156 p.
- Engelhardt 1919:** ENGELHARDT, A. - *Der Lehmabau*, Aechitekten-Verlag, Hannover, 1919, 17 p.
- Estienne et Liébault 1763 :** ESTIENNE, Charles, LIÉBAULT, Jean - *La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne, la manière de les entretenir ou de les multiplier*, datée de 1763, en deux tomes ; tome 1, 664 p. et tome 2, 677 p.
- Fathy 1970 :** FATHY, Hassan - *Construire avec le peuple*, Bibliothèque Arabe, éditions Sinbad, Paris, 1970, 310 p. et 132 planches photographiques et dessins.
- Fattovich 1980 :** FATTOVICH, R. - *L'Éthiopie et les royaumes sud-arabiques*, in « Archéologie, cultures et civilisations du passé en France et dans le monde », éditions Nathan, Paris, 1980, 648 p.
- Faust 1840:** FAUST, B.C. - *Der Lehmsteinbau*, Buckeburg, 1839.
- Fauth 1946:** FAUTH, W. - *Der praktische lehmabau*, Limes Verlag, Wiesbaden, 1946, 130 p.
- Galdieri 1982:** GALDIERI, Eugenio - *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*, Editori Laterza, Rome-Bari, 1982, 305 p.
- Galdieri 1987 :** GALDIERI, Eugenio - *Etat et futur des Bâtiments Italiens en Terre : les cas du Piémont et de la Sardaigne*, in « Le Patrimoine Européen en Terre et sa Réhabilitation », colloque international MELATT, ENTPE, Université Jean Moulin Lyon III, Mars 1987, 583 p., pp. 258-259.
- Gilly 1811 :** GILLY, David - *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn : und Wirthschafts : Gebäude für angehende Cameral : Baumeister*, Rengerschen Buchhandlung, Halle, 1811.
- Gilman 1839:** GILMAN, E. - *Economical Builder : A Treatise on Tapia and Pisé Walls*, 1839.
- Güntzel 1990:** GUNTZEL, Georg - *On the History of Clay Buildings In Germany*, in Adobe 90 Preprints, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 57-65.
- Hirschi 1983 :** HIRSHI, Suzanne, HIRSHI, Max - *L'architecture au Yémen du Nord*, Coll. Architectures, éditions Berger-Levrault, Paris, 1983, 347 p.
- Howard 1993:** HOWARD, Ted - *Mud and Man. The history of Earth Buildings in Australasia*, Earth Buildings Publications, Melbourne, Australie, 1993, 198 p.
- Jobst 1919:** JOBST, R., *Lehmabauweissen*, Berlin, 1910.
- Johnson 1806:** JOHNSON, Stephen, W. - *Rural Economy*, 1806.
- Knapp 1986:** KNAPP, Ronald, G. - *China's traditional rural architecture. A cultural geography of common house*, éditions University of Hawai Press, 1986, 177 p.
- Kuntzel 1919:** KUNTZEL, C. - *Lehmbauten*, Berlin, 1919.
- Lewis 1977 :** LEWIS, Miles - *Victorian Primitive*, Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, 1977, 87 p.
- Loubes 1988 :** LOUBES, Jean-Paul - *Maisons creusées du Fleuve Jaune. L'architecture troglodytique en Chine*, éditions Créaphis, 1988.
- Ludwig Seebass 1803:** LUDWIG SEEBASS, Christian - *Cointeraux, François, Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang (...)*, Leipzig, 1803, 195 p.
- McCann 1983:** McCANN, J. - *Clay and cob buildings*, Shire Publications Ltd, 1983.
- Margueron 1991 :** MARGUERON, Jean-Claude - *Mari ou la "naissance" d'une ville neuve*, in Revue Autrement, « Cités disparues. Découvreurs et archéologues au Proche-Orient », n° 55, septembre 1991, 237 p., pp. 133-142.
- Mellaart 1967:** MELLAART, James - *Çatal Hüyük, a neolithic town in Anatolia*, éd. Thames and Hudson, Londres, 1967, 232 p.
- Middleton 1953 et 1975:** MIDDLETON, G.F. - *Build your house of earth*, Angus and Robertson, 1953, réédité par Compendium Pty Ltd, Melbourne 1975.
-

- Nabokov et Easton 1989:** NABOKOV, Peter et EASTON, Robert - *Native American Architecture*, Oxford University Press, New York, 1989, 431 p.
- Nicholson 1807:** NICHOLSON - *Agricultural Dictionary*, 1807.
- Niemeyer 1946:** NIEMEYER, R. - *Der lehmbau und seine praktische andwendung*, Ökobuch Verlag, Grebenstein, 1946, 158 p. Réédité en facsimilé en 1982.
- Papworth 1818:** PAPWORTH, J.B. - *Rural Residences*, 1818.
- Rapoport 1972 :** RAPOPORT, Amos - *Pour une Anthropologie de la Maison*, éditions Dunod, Paris, 1972.
- Raymond 1857 :** RAYMOND, Louis - *Mémoire Sur La Bâtisse en Terre*, Imprimerie d'Elie Carey, Genève, 1857, 44 p. et 2 planches dessinées.
- Rees 1817:** REES, Abraham, *Farmer's Dictionary*, Philadelphia, Etats-Unis, 1810-1817.
- Rees 1824:** REES, Abraham - *Cyclopaedia or Universal Dictionary for Science and Literature*, Philadelphia, Etats-Unis, 1824.
- Richards et al. 1985 :** RICHARDS, J.M., SERAGELDIN, I. et RASTORFER, D. - *Hassan Fathy*, éditions Mimar, Concept Media Pte Ltd., Singapour, 1985, 172 p.
- Ritgen 1920:** RITGEN, O. - *Volkswohnungen ind Lehbau*, Wilhelm Ernst ind Sohn, Berlin, 1920.
- Rondelet 1840 :** RONDELET, Jean-Baptiste – *Traité de l'Art de bâtir*, Paris, 1840.
- Seidelin 1796 :** SEIDELIN, K.H. - *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux Beskrivelse og i abskilligt forandret*, 1796, Kopenhagen.
- Sorre 1943 :** SORRE, Max - *Les fondements biologiques de la Géographie Humaine*, édition Armand Colin, Paris, 1943, 2 volumes, 1 - 261 p. et 2, 230 p.
- Steele 1988 :** STEELE, James - *Hassan Fathy*, Architectural Monographs, Academy Editions / St. Martin's press, Londres, 1988, 149 p.
- Stevens 1980 :** STEVENS, André - *Oman. Citadelles entre sable et mer*, éditions Terra Incognita, Bruxelles, 1990, 80 p.
- Stevens 1985 :** STEVENS, André - *Sites and Forts of Oman. Pre-inventory of the architectural heritage. Figures*, éditions ICOMOS/UNESCO, Paris, 1985, 33 p.
- Theus 1956 :** THEUS, Pierre - *La fondation d'un village de Provence au XVIII^e siècle: Charleval, 1741*, La pensée Universitaire, Aix-en-Provence, 1956, 280 p.
- Vidal de la Blache 1922 :** VIDAL DE LA BLACHE, Pierre - *Principes de la Géographie Humaine*, éditions Armand Colin, Paris, 1922, réédition en 1948, pp. 150-154 et tableau XVI.
- Walker et al 1996:** WALKER, B., MCGREGOR, C., LITTLE, R. - *Earth Structures and construction in Scotland*, Historic Scotland Technical Advice Notes n°6, Edimbourg, 1996, 128 p.
- Wimpf 1840:** WIMPF, Jacob - *Der Pisé-Bau*, Heilbrann, 1841, 60 p.

An approach to the evolution of earthen building cultures in Orient and Mediterranean regions

What future for such an exceptional legacy ?

(Article publié dans la revue d'archéologie japonaise AL-RĀFIDĀN, Vol. XXIV, 2003)

Introduction and summary

Among the immediately available building materials, earth was undoubtedly the elected material of mankind as soon as prehistoric ages. At that time, it was often associated with wood and plants. Its common use was asserting itself during the protohistory in several regions of the world offering propitious conditions for the settlement of human communities. It will play an essential part all along history, up today. All archaeological excavations which have been carried out since the XIXth century, on territories having given birth to ancient great civilisations, and the numerous studies covering the field of vernacular architectures existing worldwide, are proving this privileged use of the earth for building human settlements the size of which is ranging from simple clusters of dwellings, as hamlets or villages, up to towns.

The use of earth in construction seems having been independently developed in the main well-known cradles of ancient civilizations : in both Tigris and Euphrates valleys, in Mesopotamia ; in Egypt, along the banks of the Nile river, from Nubia to the delta ; in actual Pakistan, on the tablelands of Baluchistan and then along the banks of Hakra and Indus valleys ; in China, along the Huang-ho. But also on other continents : in Latin America, on the border desert lands of the Pacific Ocean which are drained by "Rios" (rivers) coming down from the Andes, and in Central America. Of course in Africa which gave birth to humankind in the Rift Valley. Simultaneously or successively, with most of times great gaps in history, the fertile regions which were propitious to the development of the Neolithic Agricultural Revolution, have soon invited people to build their original settlements in earth. The alluvial soils, rich in sand, silt and clay, mixed with the straw of the farmed crops, have given birth to the first solid and durable building material : the earthen bricks dried under the sun or unbaked bricks now commonly called "adobes". Whatever the isolation of these different ancient civilisations was, whatever the relationships between them were, the art of building with earth was rapidly flourishing with the much more generalised use of the unbaked earth brick.

This article, in form of a synthesis, is based on a research carried out for presenting a 3rd cycle thesis in the "D.P.E.A.-Terre" driven by CRATerre – EAG, at the School of Architecture of Grenoble, France. It was prolonged by the presentation of a DEA equivalence, at the "Ecole Pratique des Hautes Etudes", Paris, IVth Section of "Sciences Historiques et Philologiques", under the direction of Professor Jean-Claude Margueron. In a first part, the article focuses on the evolutionary process of earthen building cultures in Near Orient and Mediterranean regions from ancient times and then points out the permanence of a large range of practices up to recent times as numerous living vernacular traditions are showing. In a second part, considering the importance of this building and architectural legacy, it is worth to question the major problem of the maintenance of a building techno-diversity for the future, according two directions : the architectural heritage conservation, and the relevant potential of the earthen building practices for a sustainable development.

As architect I am particularly indebted to all the community of scientists in archaeology of the world who has conducted patient works, passing on to humanity all the memory of the building cultures of humankind and this so exceptional and valuable scientific knowledge. Concerning the history of the vaulting construction in Orient, I want specifically thank Dr. Roland Besenval who has conducted his reference research on the "Technology of the vault in Ancient Orient" ¹.

Main features of earthen building cultures in Ancient Orient

"From the village to the town"

The organised production of what we are now commonly calling "adobe" has extended during the VIIth millennium to be widely confirmed during the VIth millennium. In Anatolia, the site of Çatal Hüyük (Turkey), a Neolithic settlement which was inhabited between 6500 and 5700 B.C., shows an advanced degree of the adobe construction where the

¹ Besenval, Rolland, in « *Technologie de la voûte dans l'Orient Ancient* », vol. 1, p. 74, and vol. 2, PL 60, 102 (Technology of the vault in Ancient Orient), ed. Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984.

bricks, laid with mortar are filling up bearing structures made of wooden pillars and beams. The builders were already mastering the technology of lime plastering ². In Mesopotamia, the culture of the unbaked brick which is gifted with a great flexibility of use and of excellent structural performances characterising the masonry in small elements, will be progressively mastered during The Ages of Hassuna (mid-VIth millennium) and then during the Ages of Samara (from the Vth millennium). These ages correspond to the coming out and progressive extension of bigger structures with thick walls strengthened by big pillars and buttresses (see Tell Asmar, *Fig.1*). Some nice examples of such structures have been found at Chogha Mami, in the middle Tigris valley, or at Tell es Sawwan (Iraq). These massive farming constructions and other dwellings presenting some characters of ostentation are archaeologically foreshadowing what Olivier Aurenche has defined as being the “*signs of the town*” ³. During the IVth millennium, the phenomenon of a town planning process is growing and extending with a transfer of patterns from regions to regions, channelled by a colonisation of new territories that are sometimes very far from the founding sites. This mobility of building, architectural and town-planning models follow people’s migrations moved by the searching of new settling sites, or pushed away by economical stakes or warlike events. On these considerations, Jean-Claude Margueron has made the hypothesis of such a transfer of cultural patterns from south Mesopotamia (Ur, Uruk) up to the North, in the territories of the Euphrates loop, with the founding of Mari ⁴.

The coming out of a monumental architecture and vaulting structures

The middle times of the IVth millennium seem to confirm a new step of evolution of people’s building ability with the coming out of the vault and cupolas. The first known examples are showing a corbelling building system. These vaults are not erected on top of bearing walls but directly on the ground. Some remains which have been excavated at Tell Arpachiyah, North of Iraq, conserved at a height of 80 to 85 cm, describe this building process of corbelling vaults and so is doing the famous Tholos 42 of Yarim Tepe in the same regions ⁵. By the beginning of the IVth millennium, with the Obeidian Epoch, a new type of monumental earthen architecture is emerging defining its typological and spatial characters on the use of the symmetry where the rooms, similar in size and equal in number, are laid around a central rectangular or “T” shaped space. Several buildings present typical layouts organised in three parts. Chiefs of villager communities may have lived in the most elaborated of them, as they seem to have sheltered meeting or reception rooms. Such edifices have been excavated at Tell el’Oueili, near Larsa, at Sukhairi or Eridu, southern Iraq, or at Tepe Gawra, northern Iraq. The birth of the Civilisation of Sumer and then of Elam, on the plateaux of Khuzestan, actual south-west of Iran, from the mid-IVth millennium, confirms the settling of the first religious centres which are foreshadowing the temples-towns. During the Epoch of Uruk, the famous temples of Eanna and the White Temple of Uruk, the Temple of Enki, at Eridu, are built up on high earthen brick platforms. The aesthetic composition of their elevations affirms the principle of successive recessed and projected facings that will be dominant in the Mesopotamian architecture. By the entry in the IIIrd millennium, the VIIIth level of Tepe Gawra ⁶ (room 846) testifies of the construction of the barrel vault with quite impressive structural performances (a span of 3,25 m and 8,50 m long). Roland Besenval quoted : “*It seems that it should be one of the first arched or barrel vault used for covering some important structure and presenting a radiating building process.*” At Yanik Tepe, structures erected on circular layouts have been found. They could be inherited from the Chalcolithic Transcaucasian building culture if we refer to the sites of Shulaveri and Shangavit. The external diameter of such structures could reach the impressive size of 6,20 meters. But the excavators prefer to hold the hypothesis of some wooden and thatched roofing system and not earthen bricks cupolas ⁷.

The proto-dynastic Ages (2700-2500 B.C.) are generalising the development of religious towns around temples. At Khafajah, mid-valley of Tigris, the tombs settled around the famous Oval Temple are exhibiting earthen bricks vaulting systems. The bricks are plano-convex. These vaults are built up in successive inclined arches, placed side by side, with a generating broken section. The average dimension of the tombs is about 3,40 m x 1,20 m. These roofing solutions were also adopted for the dwellings as the site of Tell Asmar (Central Iraq), with its “arch houses”, is showing ⁸.

² Mellaart, James, in « *Çatal Hüyük, a Neolithic town in Anatolia* », ed. Thames and Hudson, London, 1967, 232 p

³ Aurenche, Olivier, in « *Du village à la ville* », (From the village to the town), in *The Great Atlas of Archaeology*, ed. Universalis, Paris, 1985, pp. 168-169.

⁴ Margueron, Jean-Claude, « *Mari ou la naissance d’une ville neuve* » (Mari or the birth of a new city), magazine *Autrement* n° 55, « *Cités disparues. Découvreurs et archéologues au Proche-Orient* » (Disappeared cities. Discoverers and archaeologists in Near Orient), ed. Autrement, Paris, Sept. 1991, pp. 133-142.

⁵ Besenval, Roland, op. cit. See also, Merpert, N., Munchaev, R. and Bader, N., « *The investigations of Soviet Expedition in Iraq, 1973* », *Sumer* XXXII n°1 and 2, pp. 25-61.

⁶ Speiser, E.A., « *Excavations at Tepe Gawra* », vol. 1, levels I-VIII, Philadelphia, 1935.

⁷ Burney, C.A., « *The Excavations at Yanik Tepe, Northwest Iran* », Iraq, vol. XXIII, pp.138-153, 1961.

⁸ Delougaz, P., Hill, Lloyd, « *Private houses and graves in the Dilaya Region* », O.I.P., vol. LXXXVIII, Chicago, 1967.

Wooley⁹ has made similar findings at Ur, on the Royal Tombs. On the Iranian Plateau, at Shahr-i Sokhta, rural people's houses of mid IIIrd Millennium (circa 2400 B.C.) are developing a clustering design which confirms the evolution to an urban design (see **Fig. 2**). At Mari, oriental Syria, the Presargonic Epochs (2500 B.C.) show an evidence of small houses which are organised around a raised central space as is showing the famous miniature of the "Red House". The great "cella" of the Ninni-Zaza and Ishtar Temples could have been covered by terraced wooden and earthen structures (see hypothesis of restitution by Jean-Claude Margueron and Olivier Callot¹⁰). By the IInd millennium the Mesopotamian skyline is progressively marked out by prominent structures, the ziggurats, built up in successive platforms of unbaked bricks that will be then protected and adorned by burnt and glazed bricks facings. This architectural and religious tradition (these ziggurats were crowned by temples at their summits) which has been initiated on such sites as Ur, Eridu and Uruk, in southern Iraq, will extend and spread all over the Mesopotamian territories. Chogha Zanbil or «*Dur-Untash*», in Iran, south of Susa, exhibits one of the most famous examples of such tradition known today (see **Pl.I**). This site which was created by the Elamite King Untash Napirisa, around 1200 B.C., discovered by René de Mecquenem, and then excavated by Roman Ghirshman during the sixties of the XXth century, shows an original building system the design of which is explained by the successive steps of construction of the structure. As the result of this construction history, the ziggurat is not commonly built in successive piled up platforms but in a way of encased levels, as a "Russian doll". This building principle is attested by a gallery that has been dug by the excavator from the north-west side up to the core of the ziggurat. The first and the second levels are sheltering in their thickness several chambers and temples (the Temple of the goddess Ishushinak, located at the first level, right site of the south-east elevation), which have been roofed with vaults. Located at the south-east part of this large site, beyond the second wall, the exceptional remains of the tombs of the Hypogeum Palace are undoubtedly exhibiting among the nicest barrel vault of those ancient times in the Mesopotamian space. All these structures are by now under a process of conservation and "mise en valeur", thanks to the ICHO-RCCCR-UNESCO-Japan Trust Fund and CRATerre-EAG Chogha Zanbil Project carried out since 1998.

The Epoch of Isin Larsa (2000-1560 B.C.) corresponds to the apogee of a very elaborated town planning, particularly in southern Iraq, around Larsa and Ur. At that time was confirmed the patterning of an earthen urban habitat organised around indoor open yards. The famous two-storied house of Ur shows this principle of an introverted layout with a patio distributing the rooms all around, by direct access at the ground floor, and by a staircase leading to a gallery at the second floor. The typical pattern of the earthen oriental house is already totally accomplished and will stay without any major changes, from that time up to now. At Tell Al Rimah¹¹ (Zone AS 1, a & b, see **Fig. 3**), north of Iraq, the beginning of this period of Isin Larsa has passed on the mastery of the lowered brick vaults erected in inclined arches and defining two typical building patterns : either one progression from the four angles of the top walls of the rooms, or from the two short sides of the room. Both these patterns are now still used by contemporary Iranian builders. Beyond this time, there will be a generalisation of the radiating barrel vault and the civil as well as the monumental architecture will both build in unbaked and burnt bricks, these last ones being much more used. This is a typical feature of the building culture of the Medio-Assyrian period which will conclude by the unification of Sumer and Akkad Kingdoms by King Hammurabi, founder of the Babylonian Empire (1750 BC). Around 1200 B.C., in Syria, a period corresponding to a large extension of the Hittite Empire, new towns were settled around worshipping centres, still all built in earth bricks. Such is the city of Meskene-Emar, erected along the banks of middle Euphrates River, and its "Neighbourhood of the Soothsayer" with both temples of Baal and Astarte. All around, the people's dwellings are erected in dense clustered structures, following the natural slopes of the ground, and roofed with terraces (see **Fig. 4**). This town planning testifies of an accomplished urban earthen building culture that is fully adapted to the physical and climatic environment. The construction principle of vaulted roofs, in unbaked or baked bricks, will be permanently used up to the Neo-Assyrian periods (1000-600 B.C.). In between, during the Neo-Hittite Period (900 B.C.), some nice examples have been excavated at Tell Halaf, north of Iraq, in the sector of the Temple-Palace, with a wide variety of generating sections, from the lower, the barrel, to the raised up and broken design. During his reign, Sargon the IInd (729-705 B.C.) has built Khorsabad, or "Dur-Sharukkin", which is fenced by a high quadrangular enclosure sheltering the citadel whose palaces and religious structures are exhibiting very nice examples of barrel vaults in unbaked bricks which are also covering the main gates of the city. Then, under the reign of Sennacherib, the superb city of Niniveh, settled on the oriental banks of Tigris, will develop this system of fortifications with impressive entrance vaulted gates. There should have been 15 of such monumental gates. There are no very readable remains of the people's earthen

⁹ Wooley, L., « *Ur Excavations : vol. II, The Royal Cemetery* », New York, 1934.

¹⁰ Margueron, Jean-Claude, « *Eblouissante richesse de Mari sur l'Euphrate* », (Brightening up Mari on Euphrates River) « *Enceinte sacrée et palais* » (The sacred enceinte), « *La maison d'habitation* » (The dwelling), in *Les dossiers histoire et archéologie*, n° 80, fev. 1984, Paris, pp. 26-31.

¹¹ Oates, « *The Excavations at Tell Al Rimah* », 1964, 65,66,67, 68,71, Iraq, vol. XXVII, XXIX, XXX, XXXII, XXXIV. And, Besenval, Roland, op. cit.

habitat of that time but some dimensional graffitis, or reliefs, which have been found on the site, seem to evoke modest rural structures, roofed with over raised vaults. Their design can remind the conical corbelling cupolas that can be still observed, but more and more rare, in the region of Aleppo, in Syria.

A very clever earthen structural element for covering spaces

During the dominating period of the Medes, appeared an original earthen building element that was used for covering spaces and being mainly used over the Iranian space. It is known as the “*strut*”. It is a kind of precast element, made of earth and straw, reinforced by wooden pieces, shaped in portions of arches. Several of such elements are jointly laid, end to end, in order to configure a plain arch. This clever technology is replacing the use of bricks in the construction of arches and also for building vaults, resulting in an easier as faster building process, and saving of working labour and time. According the size of the spaces to be roofed, three to five or six struts are enough to achieve the shaping of an arch. The site of Nush-I Jan Tepe, in Luristan (Iran), with its Central Temple, its West Temple, its Fort and its southern Street, releases this revolutionary technology for the first time in History ¹². Under the Neo-Babylonian epochs and under the reign of King Nabuchodonosor, the new city of Babylon is flourishing. The unbaked brick will stay the main building material, but mainly used for popular structures, as the construction in baked bricks is going to be generalised for the palaces and monumental public buildings. These edifices are commonly faced with glazed bricks (Gate of Ishtar giving access to the sanctuary of Marduk). Much more trapezoidal bricks are used for building arches and vaults. The famous ziggurat Etemenanki, made of successive high terraces, still built in unbaked bricks, has testified of the reinforced masonry as the layers of building materials are embedding strong interlaced cables of twisted reeds ¹³. Earthen builders have become structural engineers.

The blooming of the earthen vaulting technology

With the conquests of Cyrus the IInd and the extension of the Achaemenid Empire, with the assimilation of the Ionic influences, the use of stone will extend but will not push out the ancient earthen building culture. The sites of the Fars valley (Pasargades and then Persepolis), and then the Palace of King Darius at Susa, confirm the principle of the Apadana and the invention of the Hypostyle room, giving an ostentatious character to the palatial edifices. Nevertheless, the thickness of the outer bearing walls protected by a veneering of stones is still made of unbaked bricks. The use of the strut technology has been still attested at Persepolis for covering staircases and corridors embedded in the ramparts closing the access to the Apadana at the eastern side. At Susa we can also observe footing systems in rammed earth (“*pise*”), or gravelled earth which is tamped in layers, between thick facings of burnt bricks. The use of “*pise*”, and of the strut too, have been also testified by excavations made at Dahan-i Ghulaman (Iran, Seistan), on Building n° 3 ¹⁴. All these building systems and particularly the brick vaulting technology, will be commonly adopted by the Persian vernacular architecture and will spread all over Orient, up to the far eastern territories of the Achaemenid Empire which will be conquered by Alexander the Great. We can see such vaulted constructions in oriental Bactria, in Afghanistan (the mausoleum of Ai-Khanoum ¹⁵), in Uzbekistan-Khorezm (mausoleum-fort of Koj Krylgan-Kala ¹⁶) where the vaults are exhibiting a parabolic generating section, either lowered or raised up, and with a high degree of mastery and sophistication at the site of Balandy II (400-200 B.C.) in Kazakhstan-Khorezm, where the vault adopts a toric shaping. Here too, the earthen brick masonry is erected on a basement made of rammed earth.

Then, during the Kouchan period, in Afghanistan, the builders are commonly developing the construction of vaults erected on square and rectangular layouts. This is the technology of lowered vaults and cupolas, built on squinches, also called “*balkhi*” vault, which is marvellously exhibited by the cistern (“*Sardoba*”) of Dilberjin Tepe ¹⁷, in Bactria. The Parthes Arsacides will go on building vaults in struts as is showing the site of Shahr-I Qumis (Damghan) where several staircases and small rooms in short span (from 80 cm to 3 meters) have been excavated (Sites IV, VI, VII, see *Fig. 5*) ¹⁸. Beyond these Parthian periods, the Sassanid will reach the summits of the vaulting technology when they will erect the

¹² Stronach, D., « *Excavations at Tepe Nush-i Jan, 1967* », Iran, vol. VII, pp. 1-20 ; and, Roaf, M., Stronach, D., « *Tepe Nush-i Jan, 1970 : Second Report* », Iran, vol. XI, pp. 120-140.

¹³ Koldewey R., « *Das Ishtar Tor in Babylon* », W.V.D.O.G. 32, 1918 ; and, Reuther, D., « *Die Inner Stadt von Babylon (Merkes)* », W.V.D.O.G. 47, Leipzig, 1926.

¹⁴ Scerrato, U., « *Excavations at Dahan-i Ghulaman (Seistan, Iran) : First Preliminary Report East and West* », vol. 16, n° 12, pp. 9-30.

¹⁵ Bernard, P., « *Campagne de fouilles à Ai Khanoum (Afghanistan)* » (Excavation Campaign in Afghanistan), C.R.A.I., nov.- dec. 1972, pp. 605-632.

¹⁶ Tolstov, S., Vajnberg, B., « *Koj Krylgan-Kala* », T. Kh. E., vol. V, Moscou, 1967.

¹⁷ Kruglikova, I., « *Delbarjin : fouilles 1970-1972* », vol. I (in Russian with a summary in French), Moscou, 1974.

¹⁸ Hausmann, J., Stronach, D., « *Excavations at Shahr-i Qumis, 1971* », J.R.A.S., n) 1, pp. 29-62.

first iwans, generalising the previous exceptional model of Ctesiphon (King Chosroes the Ist, banks of mid-Euphrates, central Iraq, not far from the actual Baghdad). This is on such cultural footings having reached to a great mastery of the brick masonry and the vaulted technology that will flourish the building and architectural tradition of the Muslim Persia growing with the extension of Islam in this region.

The legacy of the earthen building culture in Iran (see Pl.1 and 2)

The first great mosques erected during the Caliphates, under the Omniad Dynasty, and then under the Great Abasids, have chiselled the legacy of the Persian builders that will be raised at its highest level of brightening up by the beginning of the XVIth Century under the Dynasty of the Safavids. Isfahan, capital town of Shah Abbas, is one of the most spectacular demonstrations also renewed in many other Iranian towns as Shiraz, Seojan, Tabriz, and Kerman. How more beautiful is this superb Meidan-é Imam Square, with its architectural composition opposing from one side the Great Mosque (oriented at 45°) to a central iwan giving access to the Bazaar on the opposite side, and from both long sides of the square, the facing of the smaller Sheikh Lotfollah Mosque and the Ali Kapu Palace ? All around this wonderful square, so many examples of structures in arches and cupolas covering the Bazaar are still observed. In the city, the old houses made of earthen bricks seem to be much more rare, having been destroyed and replaced by steel structures filled up with burnt bricks or by concrete structures of our modern time. But visiting the periphery of Isfahan and leaving the city, many earthen vaulted caravanserais and villages are still existing. At Gavart, a small village located between the airport of Isfahan and the city, the surrounding landscape and the skyline is still marked out by the famous pigeon towers exhibiting one of the best examples of such exceptional rural building traditions in the world.

Undoubtedly, Iran is one of the Central Asian countries still testifying today of the greatest diversity of the earthen architectures. We can meet the tradition of wattle and daub on the piedmonts and in the bordering plain of the Caspian Sea, as well as on the arid slopes of the Elbourz Mountains. They are half-timbering houses filled up with daub (“*torchis*”) made of clayey soil mixed with rice blades (locally called “*kula*”) and chaff. But the tradition of the earthen brick is undoubtedly the predominating building culture in Iran where the popular architectural heritage is essentially built with it, as in regions of plateaux (Baghestan), or in mountains (where it is associated to the stone and the wood) or in central desert (Yazd) and southern semi-desert regions. There is also a mixed building technology associating the earthen brick with the “cob” as we can observe around Isfahan and in Khuzestan. The traditional techniques of plastering are also calling for the use of earth mixed with straw. The white clay or “*gel-é sefid*” is used on the border of the Caspian Sea, when the yellow clay or “*gel-é zardi*” is used in the region of Elbourz, as well as the “*khâ-gel*”, also mixing a clayey soil with chops of straw, is the tradition of Khuzestan. The tradition of flat roofs is predominating in most regions of piedmonts and valleys. Here, the wooden girders are covered with woven matting of straw or reed, then covered by small branches of local trees which are recovered by a layer of compacted earth, or “*gel-enazok*”, then protected by a finishing layer of “*khâ-gel*”. On the other side, the vernacular tradition of Iranian roofs is more directly inherited from the ancient culture of arches, vaults and cupolas made of bricks. Most of the time, the arches are built up on forms made of gypsum reinforced by straw that are directly moulded on the ground. This technology is undoubtedly a survival of the ancient Parthian “strut”. Considering the actual typology of vaults, it appears to be very diverse. We can observe the simple barrel vault or “*taq-o-chechmeh*” which is declined in other types called “*bangui*” or “*chamchiri*” in mountain regions, the shuttle vault which is progressing simultaneously from both short sides of the rooms, probably inherited from the ancient vault “*balkhi*” of the ancient times and today called “*lili pouch*”. And there are also much more complex vaults as crossed vaults, edging vaults and vaults on squinches (“*lengheh pouch*”). Other mixed solutions are associating arches erected in the spanning direction that are then bearing portions of vaults (oblong cupolas). And surely the very common tradition of vaults on pendentives, or “*dorshin*”, when the most spectacular are the vaults built with a network of ribs then filled up with bricks creating different decorative patterns. This is the famous “*yazdi-bandi*” bonding tradition or that of the ribbed cupolas called “*torkine*”.

Beyond these exceptional earthen building know-how, the Iranian builders have also passed on other extraordinary traditions as this one of the wind tower, or “*badguirs*”, that are a typical feature of the vernacular architecture in the bordering plains of southern Iran where the hot and humid climate imposes the air conditioning of spaces. The same clever device can be observed in the semi-desert or desert regions of Central Iran, in and around Yazd, where sometimes these wind towers are separated from the houses but bound to them by a tunnel conveying the fresh air. This tradition of the “*badguirs*” was still used for conditioning the houses during the recent Khajar Period as we can see in the very nice and famous burgess houses of Kashan. What impressive lesson of architecture !

In most of other oriental countries (Sultanate of Oman, see **Pl. 3 and 4**, or in Saudi Arabia, see **Pl. 4**), as well as in Central Asian countries (Afghanistan, see **Pl. 5** or in Turkmenistan, see **Pl. 5 and 6**), this wonderful vernacular tradition of the earthen architecture constitutes an exceptional legacy.

The Levant and the Mediterranean Region

The primitive periods

The regions of the Mediterranean Levant and of the Taurus-Zagros Arch, today including Lebanon, Syria, Palestinian territories, Israel, Jordan, extended to the actual regions of Iran and Iraq, were the founding territories of the greatest ancient cultures and civilisations which have excelled in the earthen building art. The unbaked brick was the vector of a fantastic urban development during the IVth and IIIrd millennium B.C. despite this building culture has been emerging since the VIIIth millennium as the famous site of Jericho has testified. At that time, the habitat is settled on hill slopes, both embedded in the thickness of the soil and partially aerial. It is basically oval and round shaped. The walls are erected with a kind of small hand-shaped earthen “breads” (see **Fig. 6** and **Fig.7**) which seem to have been built at their plastic state, without any mortar. This technique could be compared to what is called “cob” in England, or “bauge” in France, consisting in piling up plastic earth balls or packs, in order to realise successive layers of walling material. But compared to this technique, at Jericho, the walls are thinner and could be assimilated to a kind of direct shaping. This technology has been also observed on the site of Mureybet, Syria, where the common people's houses of the VIIth Millennium B.C. are round-shaped, partially embedded in the slopes of the tell, exhibiting small indoor spaces typically organised around a central space (see **Fig.8**). This design will be a permanent feature of numerous people's houses across the following ages, with variations in the dimensions of the living spaces, but still common at the Early Bronze Age (*circa* 3200 B.C.) as we can observe on the tell of Bet She'an, in Israel (see **Pl.6**). Should it be a primitive design of what will become later the common patio of the oriental house? Later on, the influence of the earthen building know-how of Mesopotamia and also the influences coming from Egypt, in the art of using the common unbaked brick for building with arches will extend in the territories of Near-Orient. Among representative examples of such evolution is the famous triple arched gate of the Canaanite city of Laish, at Tel Dan, northern Israel (see **Pl.6**) during the Middle Bronze Age (XVIIIth Century B.C.). Apart from archaeological sites which are exhibiting remains of entrance gates covered with arches and barrel or inclined vaults built in unbaked bricks, the excavations carried out in the territories of Near-Orient have given few examples of the use of vaults or cupolas for the common roofing of vernacular people's houses of ancient times. Some clues of the possible design of these people's houses, during the Assyrian Times, have been given by graffiti which have been observed on the site of Niniveh. It seems that the conical-shaped vault, or corbelled cupola, might have been used and we could compare the morphology of this design to the shaping of vernacular houses in some Syrian villages, in the region of Aleppo (see **Pl.7**) which are today much more rare.

In Thessaly, Greece, primitive human settlements of the Mediterranean Europe are dated from the mid-VIIth millennium (around 6500 B.C.), tracing back to the proto-neolithic phase, so before the apparition of the ceramic. This primitive habitat settled on the border of the Aegean Sea, in the deep layers of Sesklo, show huts presenting variable layouts, lightly buried in the soil. They are constructions made of wooden poles probably supporting walls in wattle and daub (“*torchis*”). The VIth millennium confirms the inputs of the Anatolian and levantine building cultures up to Thessaly, Crete and Cyprus. Within its deep layers, the site of Nea Nicomedia (in Macedonia), exhibits a more advanced habitat but still made of wooden poles and wattle and daub. However, the houses have mainly one square room of a greater size (8 x 8 m). The soils are in compacted earth on top of an insulating layer of leaves and tree branches. In a post time of occupancy, we can observe the existence of an inside partition also made of wattle and daub. At the apogee of Sesklo¹⁹, during the mid-Vth millennium (5500-4400 B.C.), the dwellings of the upper levels are both built in wattle and daub and unbaked bricks. They look much more structured and they adopt the rectangular layout. These houses should have been two slopes roofed and some of them should have been two-storied. Earthen walls are insulated from the humidity by stone basements, as the stone is also used for the defending walls and for some outdoor terraces of the site. However, these houses are still settled as independent farms and they are not really showing a social villager organisation. But, at that time, the basic layout of the habitat is evolving to the “megaron” typology which will predominate in the Ancient Greek architecture : one main room with a hearth slightly embedded in the soil, preceded by an open hall without frontage except a portico supported by one or two massive poles²⁰. The same type of habitat has been found at Dimini (South of Sesklo) and will predominate during the Recent Neolithic Ages (4400-3000 B.C.), even if there is an evidence of a hierarchical society which is testified by the existence of some more important dwellings, settled on top of the hills of Sesklo and Dimini. These houses have also the typical opened entrance hall, but two rooms, the first one being larger and with the hearth. We have now a village structure protected by concentric surrounded walls, same devices which have been observed in the deep layers of Troy I (3000-2500 B.C.). Beyond these reference bordering sites of the

¹⁹ See Holtzmann, B., « *Le second début de l'architecture grecque* » (The second starting of the Greek Architecture), in the Great Atlas Universalis of the World Architecture, p. 132.

²⁰ See « *The beginnings of agriculture in Near-Orient and Europe* », in Encyclopedia of Cambridge, 1981, pp. 110-111 with a drawing revealing the typical house in Sesklo.

Aegean Sea, in the inward and southern regions of Greece, the habitat looks much more precarious and invariably made of wattle and daub, a building tradition that might be connected with the Danubian building cultures (ribbed ceramic) covering the Central Europe.

The Aegean World and the continental Greece

In the Aegean world, the Ancient Bronze Ages (3000-2000 B.C.) which corresponds to the first civilisation of the Cyclades all over the islands, is marked by the development of the construction adopting the apsidal megaron type of layout, mainly built in stone and protected by thick defending walls including oval shaped towers (acropolis of Kalandriani, at Syros, sites of Paros and Melos). This protected habitat is foreshadowing the typical gathered town planning of the Cyclades that will reach up to our times. On Crete, during the Ancient Minoan (2700 B.C.), at Vasikili, the "house on the hill", with its irregularly designed rooms, seems to announce the future palatial complexes. The earth might have been used, according to the "cob" technology, piled up in casings at its plastic state²¹. The larger use of the unbaked brick seems to have colonised the Peloponnese just before the IInd millennium. In the deep layers of Lerne III, the "house with tiles" is erected within a fortified perimeter in the centre of which the American excavators have found this large building (25 x 12 m) showing a row of 4 rooms (among three of them present corridors). The starting of a stair confirms the existence of a second floor. All the thick wall of this house is erected in unbaked bricks and put up on a stone basement. These walls are plastered with stucco²².

During the Middle Bronze Age (2000-1500 B.C.), a very clear fracture can be observed between the continental Greece, which is submitted to Indo-European invasions and a cultural regression, and the Cyclades which seem to face a sudden rise of civilisation. In fact, in the Peloponnese, the Mycenaean fortifications are increasing. These fortified positions (Mycenae, Tyrinth, and Pylos) are protecting a rural habitat of shepherds, which is settled all around them. This habitat is not well known but seems to have been very precarious and maybe built in both wattle and daub (for inside partitions), and unbaked bricks (for main walling). The "house of the wine merchant", and the "house of the oil merchant", so called by the excavators, describe the characteristic megaron in three parts, inherited from the Thessalian Neolithic, with the "prothyron", or portico with two columns *in antes*, the "prodomos", or small anteroom, and the "domos", or larger room organised around the hearth. But there is no many remains of such habitat, except some smaller villages that are conserving their fortifications built up in unbaked bricks²³. After the brightening up inputs of the IInd millennium, some have spoken of a "coming back to the degree zero of the architecture". At the same time, the insular context of the Crete is favouring the harmonious development of the Minoan Civilisation. The superb "lighting palaces" of Knossos, Phaistos and Mallia, invested by the environmental nature, are offering a very refined decoration. An omnipresent light comes in the rooms and cheers up the building materials : the tuff, the gypsum, the schist and the marble which are used for the main walls, the unbaked brick for the partitions or the wood used for the carpentry, the columns and their capitals, the porticos, the door and window frameworks. The wall facings are painted in dark red, deep blue, ochres, the sacred palette of the "Minos" residences, these kings-priests who are sharing the sovereignty of the Isle of Crete. Excavations that have been made at Acrotiri de Thera (by 1967) have revealed what has been called the "Minoan Pompei". The famous miniatures which are exhibited in the Museum of Herakleion, dated from the Mid-Minoan (1900-1600 B.C.) are representing the façades of typical houses and seem to confirm the post and beam building principle which might have been filled up with a blocking masonry of rubble-stones, as well as with unbaked bricks. But we know how this achieved scale of the civil Minoan town planning, and the splendour of the palatial architecture have been dramatically destroyed by a succession of violent seisms (Recent Minoan I a and b, around 1500 and 1470 B.C.) and the volcanic eruption of Santorin associated to a rain of ashes and petrified lava, and to a devastating tidal wave.

On the Greek peninsula, at the Mid-Xth century, in Eubia, the city of Lefkandi seems to have played an important part since the IInd millennium. It has come to light an important structure of monumental character. This is a *Herôon*, an edifice that is consecrated to the cult of a Hero, which might foreshadow the first Greek temples. This apsidal-shaped building of 45 m long, the original walls of which are partially conserved at a height of 1,50 m for some parts, exhibits an unbaked bricks walling put up on a stone basement. The earth was used as bonding mortar. The inside facings were plastered with gypsum. The roof was supported by an axial bearing system of wooden columns in line erected on stone slabs and the pavement was in clay. This elaborated earthen architecture corresponds to a time that someone have called

²¹ Sinos, S., « *Die vorklassischen Hausformen in der Agais* », Mainz, Ph. Von Zabern, 1971.

²² According J.L. Caskey, quoted by Bernard Holtzmann, op cit, note 19.

²³ According a description written by May Veber, « *Mycènes, creuset tumultueux de l'Hellade* » (Mycenae, tumultuous melting pot of Hellad), in « *Les Grandes Civilisations Disparues* » (The great disappeared civilisations), 1980, pp. 70-79.

“the second starting of the Greek architecture”²⁴. In fact the political context of that times (IXth and VIIIth centuries), testifying of a reorganisation in regional states gifted with a relative stability, is favourable to such architectural fulfilment. At Smyrna, architectural restitutions which have been proposed by R.V. Nichols, are showing a typology of habitat, also apsidal-shaped and protected by a thick fortification in unbaked bricks and stony material which is built up behind a cyclopean stone facing. The unbaked bricks are quite big (51 x 30 x 13 cm). Within this protected area of more or less 35000 m², oval houses of about 3 x 5 m are settled without any specific order and also built with unbaked bricks of the same size, but not put up on a stone basement nor footings. Their outdoor facings are plastered. During the VIIIth century, the apsidal megaron will evolve to the rectangular shaping and Hellenic settlements will extend up to Sicilia and South Italy (see Incoronato, near Metaponto). The walling building system in unbaked bricks, put up on a basement made of stone or big pebbles bonded with clay mortar, is widely used in the new Italic settlements (Sibari, Amendolara, Heraklea, Velia, Morgantina, Himere) and up to the Iberian peninsula as are testifying the Valencian sites of Vinnaragell and Pena Negra. It is undoubtedly from these coastline sites that the unbaked brick will penetrate up to Catalonia and then to Aragon. At the same time, the Greek architecture is starting a petrifying process, particularly for its religious architecture and the unbaked brick will be more reserved for the megaron-type housing. The Greek domestic architecture will develop later and stayed small, obscure and uncomfortable for a long time. This is only with the coming of Democracy (508-507 B.C., at Athens), that the civil and domestic architecture will present more elaborated principles as like the “*stoa*” (open portico with columns), the Hypostyle room, as the organisation of the rooms around an indoor peristyle. But during the blooming period of Pericles (453-429 B.C.), at the feet of the brightening up Acropolis of Phidias, the popular city is lying down in dense housing neighbourhoods mainly built in unbaked bricks or in post and beam structures filed up with such materials which are thatch-roofed and Athens is looking like a great township. For the best living conditions, these houses are plastered with stucco or painted in bright colours²⁵. Then the War of the Peloponnese (431-404 B.C.), between Sparta and Athens, and the subsequent instability for the villages and small townships of the rural areas, will lead to a regression in the use of the unbaked brick and a comeback to a temporary and precarious habitat built in wattle and daub and protected by defensive acropolis. However, all over the Greek world, the use of both “*Pentadoron*” and “*Tetradoron*” unbaked bricks will go on until the 1st century A.C., as it was observed by Vitruvius during the Augustean Ages²⁶.

Phoenicians and Carthaginians

With the apogee of the Phoenician stone construction in the urban context (Sidon, Tyr, Ugarit), the unbaked brick which has been a very common building material since ancient times in the Levant, was reserved for the construction of indoor building systems, as partitions of the rooms, and for the flat terraces where the material was compacted in several layers on top of a wooden ceiling. Out of the Phoenician cities, in rural areas, the unbaked brick still remains the main building material. Was the technology of rammed earth (“*pisé*”) that can be observed today in Lebanon and Syria developed during the Phoenician Ages? We have no conclusive findings on this subject. But, when the “People of the Sea”, pushed away by Assyrian attacks, will have to transfer its civilisation to the littoral of North Africa, it will call for this technology of the compacted earth in wooden casings, associating it to the unbaked brick, for building the new Punic settlements. The birth of Carthage is taking place around 814-813 B.C. Its founding by Tyrians led by the Queen Elissa (or Didon according Virgil) is a legendary history. The original settlement that was originally a modest colony called *Qart Hadasht* (*Karchedôn* for the Greek and *Karthago* for the Roman), or “new town”, will become a powerful Mediterranean capital with an exceptional destiny. At its *acme*, by the IInd century B.C., its population should have reached about 700 000 inhabitants. During its first stage of development the original township was settled on the slopes of the Hill of Byrsa, configuring a modest acropolis. At its blooming stage, the city was covering about 2000 hectares, including several commercial and military harbours. This Great Carthage laying down in a perimeter of 32 kilometres was protected against threats that should come from the back inside land with an advanced line of fortifications. A twin rampart encircled the city itself. The French campaigns of excavations carried out on the Hill of Byrsa, by 1974-76, directed by Serge Lancel²⁷, are clearly showing that Carthaginians have firstly use the slopes in order to establish a necropolis, the tombs of which being dated from the VIIIth up to the VIth centuries. Then, this necropolis has been embanked to settle a neighbourhood of metalworkers with their forges and workshops. It is only by the beginning of the IInd century that this site has welcomed planned people’s housing units, the famous “Hannibal’s neighbourhood” and its housing blocks A, C and E (see *Pl.7*) which can be visited today. These housing units exhibit a standard layout

²⁴ Bernard Holtzmann, *ibid.*

²⁵ According the historian, geographer and philosopher Dicearque (347-285 BC), quoted by Lewis Mumford in his « *La Cité à travers l’Histoire* », (The City across History), ed. Le Seuil, Paris, 1964.

²⁶ Vitruvius, « *De Architectura* », Livre I,3,8, and Livre II, 3, translation by Claude Perrault, ed. J.B. Coignard, Paris, 1674.

²⁷ Lancel, Serge, « *Byrsa I* » and « *Byrsa II* », Mission archéologique française à Carthage, rapports préliminaires des fouilles (1974-1976 and 1977-1978), vol. 41, ed. De Boccard, Rome and Paris, 1979 and 1982, respectively, 381 p and 382 ill., 417 p. and 613 ill.

organising the rooms around a small indoor yard that is accessible by an entrance corridor. As confined spaces for the starting of staircases (probably in wood) are visible, these units might have been two or three-storied high. They have been settled according an orthogonal urban design which looks typically Hellenistic ; Serge Lancel and Jean-Paul Thuillier have compared it to the urban design of Olynthus, Priene and Solunte (Vth to IVth centuries BC). According Gilbert Charles-Picard²⁸, the construction of this residential area should have been realised for some wealthy people, insofar as the housing units have been provided with a high level of comfort and luxury which could be allowed at that time. The cemented pavements were encrusted with marble, walls were faced with stucco, and very elegant thin columns summited with Ionic style capitals were ornamenting the façades. Bathrooms were satisfying exigencies of hygiene. Today, looking at the houses walling remains of the famous Blocks B and C, along Street II, one can clearly see the eclecticism of the Punic building culture were, the use of the blocking stone masonry cohabits with unbaked brick and “*pisé*” masonry, burn brick elements (see **Fig.9**). This is the typical “*opus mixtum*” or “*opus africanum*” (masonry within structural pillars in stone or burnt bricks) which has been related by the Roman. Only the main façades on the street were built with stones, put up in great bonding. These stones were coming from the Cap Bon, extracted in the quarries of El-Haouaria. The Hill of Byrsa, which had conserved its original topography all over the Punic epochs of occupancy, was then totally embanked by the Roman. This was done late after the Victory of Scipion Emilian that has concluded with the total destruction of Carthage. This huge work was carried out to redesign and level the hill in order to settle the post Roman edifices, including the new Basilica and Forum. For that purpose, to warrant the stability of the new development ground and fond the edifices, the Roman have erected in compacted earth numerous thick footing columns some of them reaching a height of 9 m. These impressive footings in “*pisé*” are still visible (see **Pl.7**).

Italy and southern Gaul

The site of Rome was already occupied during the Bronze Age as the findings of the *Forum Boarium*, dated from 1500-1400 B.C., are testifying. Later, at the beginning of the Iron Age (VIIIth century B.C.), several of the famous seven hills were inhabited as are confirming two Villanovian hamlets which have been excavated on the Palatine. These hamlets seem to have been unified around a kind of common civic centre settled on the actual Forum area. At that time, the habitat is still very primitive. It gathers huts or wooden shanties, rectangular or oval shaped, supported by a central wooden pole and perimetric smaller poles. It is slightly embedded in the soil. The roof might have been in thatch and walls in wattle and daub. In that way, Rome, at the beginning of the VIth century is just an agricultural township when it is influenced by Hellenic inputs which were previously introduced by Greek colonists settling in Campania by 750 B.C., and then transmitted by the Etruscan domination. By that time Central Italy knows a real metamorphosis. The wooden huts, plastered with earth and thatch-roofed of the primitive Rome (see **Fig.10**), are gradually giving place to rectangular houses built in unbaked bricks. Similarly to the first Etrurian temples, the first sacred and public monuments of the Republic (IVth and IIIrd centuries) should have been erected with unbaked bricks and tile roofings gradually replace the thatched roofs. An orthogonal town planning takes the place of the previous modest and disordered settlement. Great rectangular housing blocks, sometimes fortified by an embankment of earth, the “*agger*”, preceded by a large ditch, are erected (see Marzabotto, near Bologna). By the Vth century, Rome extends its domination from the Latium all over the Italian peninsula. New colonies are settled on the base of the fortified camps of the military legions, adopting a regular town planning (*Decumanus* and *Cardo*). In Rome of the IVth century, high blocks of flats (*insulae*) edge the streets where an important rural exodus, attracted by the commercial activity of the city, is crowding. At this epoch of great change, the unbaked brick that was previously the main building material is much more used for the construction of modest people’s housing, for indoor partitions and most of the time for filled up post and beam structures. This popular technique of wood and earth construction will be used up to the epoch of Nero (37-68 A.C.) and a lot of housing units have been destroyed during the dramatic fire of the year 64. The same building process has been commonly employed for the construction of numerous new settlements of the Roman colonists when the Empire will extend in actual Europe, particularly in Gaul. So many remains of such building practices have been found on French Gallo-Roman sites, in Lyon, Vienne or Vaison-la-Romaine, in Nîmes, Lattes or Arles. The recent works of the French archaeology carried out on the Mediterranean regions are confirming a large use on the unbaked brick, but also of the “*pisé*” during these epochs (IIIth to IInd centuries B.C.)²⁹. The dimensions of the unbaked bricks have been very varied,

²⁸ Gilbert Charles-Picard, « *Les Phéniciens autour de la Méditerranée, dernières découvertes* » (Phoenicians around the Mediterranean Sea, Last findings), in *Archaeologia « Les Phéniciens »*, (The Phoenicians) n° 146, Sept. 1980, 82 p., pp 6-21/p. 14.

²⁹ See Desbat, Armand, « *La région de Lyon et de Vienne* », (The region of Lyon and Vienne), in DAF (Documentation of the French Archaeology) n° 2, « *Architectures de terre et de bois* » (Earth and wood architecture), 1985. This document concerns the excavations made at Lyon, Rue des Farges and at the Verbe incarné (Hill of Fourvière) ; but also at Saint-Romain-en-Gal (facing Vienne). See also De Chazelles, Claire-Anne, and Poupet, Pierre, in « *L’emploi de la terre en milieu urbain : Nîmes* » (The use of earth in the urban context : Nîmes), in *Revue Archéologique de Narbonne*, Tome XVII, 1984, ed CNRS, Paris, 1985. Concerns the excavations carried out on the site of « *Propriété Solignac* » (Solignac’s property).

some of them being very large (45 x 15/18 x 10 cm, in Arles) and other reminding the module described by Vitruvius (30/32 x 15/16 x 12/14 cm, in Vaison-la-Romaine). The unbaked brick seems to have been also frequently used for putting up indoor pavements (in Lattes).

On the Celto-Gallic territories, the Iron Age had developed a habitat settled in *oppida* gathering small wattle and daub or cob houses. In southern Gaul, on actual territories of Provence, from Languedoc to Roussillon, Hellenic influences are introduced with the creation of the first Greek trading settlements, as *Phocea* (Marseille), *Antipolis* (Antibes), *Agathe* (Agde), *Nikaia* (Nice), and also on the Iberian territories with *Emporion* (Ampurias). This takes place between the VIth and the Vth centuries B.C. By that time, the “civilisation of *oppida*” of the southern Gaul ³⁰ will rapidly adopt the Hellenic inputs and particularly the use of the unbaked brick which will substitute for the wattle and daub construction all over the indigenous settlements of the Gulf of Lion coastline. The evidence of such a change in the building practices is visible on sites as Ruscino, Enserune, La Lagaste or Entremont. Simultaneously, there is a gap between the coastline and inland settlements where the wattle and daub and cob building technology are still predominating. Then a slipping between the earth and stone construction will gradually extend in numerous *oppida* during the IVth and IIIrd centuries ³¹.

During the Final Iron Age, the open rivalry between Rome and Carthage leads to the first Punic War (264-241 B.C.) which gives the support of *Emporion* to the Roman and allows the conquest of Sicilia. In southern Gaul, the legacy of successive Greek influences maintains the predominating use of the unbaked brick in construction. In his “*De Agricultura*” (14,4), Caton gives advises for building a farm, either in raw stones and lime mortar or in unbaked bricks put up on stone footings (*parietes ex lateres*). During the Second Punic War, inhabitants of Massalia (Marseille) give their support to Rome. Hannibal’s troops pass through the Alps and reach Italy. This period of great brightening up of Carthage might have contributed to a wider dissemination of the building technology in *opus mixtum* and blocking masonry of rubble-stones, “*pisé*” and unbaked bricks walling put up in between stone or burnt brick toothings, particularly on the Iberian peninsula, but also up to Sardinia (see the site of Tharros) and Sicilia. The ancestor of the Sardinian “*ladriri*” (in southern “*Campidani*”) might be searched into these old cumulated influences of Greece and Carthage.

When Caesar will begin the conquest of Gaul (59-51 B.C.), he observes a local construction where the use of rudimentary building materials is very common. The “*vici*” (rural townships) and the “*aedificia*” that he describes in his “*De Bello Gallico*” might have been undoubtedly built in wattle and daub or cob, evenly in unbaked bricks. In his “*De Bello Civil*”, Cesar gives an other description of the “*murus gallicus*” which is made of earth, stone and wood. At the end of the Ist century, and up to the imperial Ages (in 31 B.C., after the victory of Actium), Rome is in its major part built in unbaked bricks or in post and beam structures filled up with this material. In his “*Roman History*” (XXXIX, 61), Dion Cassius evokes a rising of the river Tiber that over flooded all low neighbourhoods of Rome and notes that “the houses made of bricks took water from everywhere and collapsed”. Nevertheless, the “*lidio*”, “*crudi lateres*” or “*latericus paries*” still remained the building material for the popular housing, beyond the Augustean Ages. As previously observed, Vitruvius ³² was taking the unbaked brick into great consideration, recognising “its greatest utility so long as it does not load the walls too much”. He willingly calls for its use “so long as someone building with it should take the necessary care for putting it up correctly”. He precises that to build with several floors, the unbaked brick construction should be twin layers bonded (“*paries biplinthius*”) or even three layers bonded (“*paries triplinthius*”). However, after this dramatic flooding of the river Tiber, the use of the unbaked brick was pushed away from the city as soon as building rules were promulgated which prohibited the construction of thick walls, obliging to respect a maximum thickness of one foot and a half (44,3 cm) for all party walls. By that time, for erecting high buildings, the Roman civil builders prefer to use post and beam structures filled up with a blocking masonry of mixed rubble stones and fragments of tiles, reinforced by stone bond beams. By the same time, in his “*Res Rusticae*” (I, 14,4), Varron evokes the “*pisé*” construction as regards as rural fencing walls (“*maceria*”) protecting an agricultural farm located on the Sabine territory. He describes the technique as “a mixing of earth and gravel which is agglomerated in casings”. He also observes the common use of the unbaked brick (“*lateribus crudis*”) for the construction of such rural fencing walls (“*pars agraria*”). During the Ist century, in his “*De Re Rustica*” (X,1,2 and XI, 3,2), on the subject of a hunting reserve construction, Columelle quotes that “if the cost of the stone and manpower allows it, the park could be fenced by a wall put up with raw stones and lime mortar, if not it should be erected with unbaked bricks”.

³⁰ 277 units of *oppida* have been identified in the Var, more then 300 in the Alps of High Provence and more than 200 in the Gard, all actual territories of Southern France.

³¹ Fiches, Jean-Luc, « *Habitat et fortifications, la civilisation des oppida* » (Habitat and fortifications, the civilisation of oppida), in *Archaeologia* n°35, June 1979, pp. 67-75.

³² Vitruvius, op. cit., see note 26.

With the coming of the Julio-Claudian Dynasty (Tiberius, Caligula, Claudius and Nero), the tuff, baked bricks and blocking stone rubble-masonry with bonded cut stones or bunt bricks facings, are becoming the main Roman public construction techniques. By 120 A.C., in his "*Augustus*", evoking the Emperor Augustus, Suetone writes that he has embellished Rome and preserved it from the flooding and firing danger. He writes that Augustus praised himself to have received a town made of unbaked bricks and having left it in marble ("*marmoream se relinquere, quam latericiam accepisset*"). But the popular urban and the rural architecture, as the construction in numerous far-west provinces of the Roman Empire, are going on using the unbaked bricks. In Gaul, the "*pax romana*" will favour an urbanisation pressure around the "*vici*" and other rural townships as well as the construction of numerous "*villae*". As Strabon is observing in his "*Geographia*" (IV, 4,3, and XII, 1, 67), "*Gallics are building large round houses with wooden planks and wattle walling that they are covering with thick thatched roofs*". So, Tacitus in "*Germania*" (XVI, 3), on the subject of the German housing was noting that "*they do not make use of stones nor tiles ; for every building purpose they use raw materials ("materia informi") without taking care to any beauty or attractiveness ; some parts are more carefully plastered with a so pure and so brightening earth that it imitates the painting and colouring strikes*". Numerous settling sites of the Gallo-Romans "*villae*", as far as over the actual northern territories of France, in Picardy, that have been identified by the famous aerial archaeology works carried out by Roger Agache and Bruno Bréart³³, are confirming the existence of basements put up in blocking stone rubble-masonry ("*caementicius paries*") that should have been heightened with earthen building materials, unbaked bricks, or wood and earth walling whose falling in debris are clearly visible thanks to the colouring variety of the soils showing darken spots attesting of the ancient presence of buildings. The more elaborated "*villae*" have often made a distinction between the use of the earthen building technique, mainly reserved for the "*pars agraria*" (agricultural outbuildings), and stone or burnt brickwork technique for the residential building or "*pars urbana*". Roger Agache and Bruno Bréart are precisising

that "*for the numerous large "villae" the quasi totality of employed materials are collected nearby the constructions : here as on the whole Gaul. But of course, earth is the most local easily available material for lacking of other building materials. (...) From plane, we can observe, nearby the constructions, one or several ancient quarries that have been transformed in ponds*". Such characters of the Roman "*villae*" mainly built in unbaked bricks with a typical association of the burnt brick during the late Roman Times used as well as for structural reasons (consolidation) and aesthetic purposes are common in European countries where numerous sites have been excavated. The south-west of France (region of Aquitaine) and the northern territories of Spain (Castilla) are testifying of the blooming of this building art as, among several examples, that one of the Roman villa of La Olmedia, in Pedrosa de la Vega, a great residence of the IVth Century A.C. is still showing (see **Fig. 29**)

In North African countries, or "Maghreb"

The collect of the raw earth nearby the working site has been commonly used since ancient times and has been still adopted by vernacular earthen builders up to the recent times as we can still observe it in many countries where the earthen construction is still alive. This is actually the case in South Morocco, in the Drâa and Dades valleys (beyond Ouarzazate), when the "*mâalems*" (master masons) are still building houses and fencing walls in "*leuh*" (*pisé*). Effectively, earthen building traditions that are still actual over northern African territories, in Libya, Tunisia, Algeria and Morocco, are originated from these ancient Carthaginian, Greek and then Roman successive influences that have been perpetuated, improved by further civilisations, up to the coming of the Arabic domination, and much further with the vernacular building practices which have passed on this ancient legacy by the channel of generations and generations of anonymous builders. This is really this "architecture without architects"³⁴, or this "spectacular architecture"³⁵, mainly built with earth, that goes up to us now and offers to see so diverse applications of elaborated building cultures tracing back to millenniums. The Hellenic and then Roman influences all over northern African territories are evident on numerous grounds of excavations. In Tunisia, from the beginning of the Ist century to the IIIrd century AC, the unbaked brick or "*pisé*" construction was very common in the Province of Byzacena as are testifying excavated dwellings in Acholla, the famous "*House with red columns*", "*Asinius Rufinus' House*" or "*Neptune's House*", which are dated from the reign of Marc-Aurele, or by 170-180 A.C. In "*Neptune's House*", the "*pisé*" is used for buttressing the pressure of a cistern located in the "*viridarium*". In Uzitta, near Souss, several houses have been excavated showing a common use of earthen structures put up on top of stone basements. It might have been the same in the near Province of Tripolitania. The city of Thysdrus has passed on among the best-conserved testimonies of the

³³ Agache, Roger and Bréart, Bruno, « *La terre crue dans les constructions traditionnelles* » (The earth in traditional constructions), in *dossiers histoire et archéologie* n° 79, Dec. 1983, Jan. 1984 (pp. 16-23).

³⁴ Expression borrowed from Bernard Rudovsky, « *Architecture without architects* », 1987.

³⁵ Referring to Jean-Louis Bourgeois and Carrolle Pelos, « *Spectacular vernacular* », 1989.

public and domestic architecture of those times. In the “*Lucius Verus’ House*” and in the “*House with frescos*”, a great number of unbaked brick (50 x 35 x 9 cm) walling, put up on of stone basements built according the “*opus Africanum*” type have been observed. These remains of earthen walls are plastered with a 2 cm thick lime mortar. Again in Thysdrus, the “*House of the death masks*”, which is of Punic type, is built in “*pisé*” with 50 cm thick walls erected on top of a 70 cm high basement made of blocking stony masonry. During the period of Roman occupancy, in Tingitania (Morocco), the construction in earth has been attested on the site of Volubilis, particularly in the “*House with the cistern*” located nearby the North of the triumphal arch. This large dwelling, dated from the IInd century A.C. was covering a private bath of about 150 m² that has been dated from the Ist century where “all walls are presenting a stone basement at a variable height, when the elevation was in “*pisé*” or unbaked bricks”³⁶. The southern neighbourhood of Volubilis, called in other words the “craftsmen’s neighbourhood”, or “indigenous neighbourhood”, has revealed numerous findings of fit in together houses, gathered in a very dense cluster, all built in unbaked bricks laid on with a clayey mortar on top of 80 cm high basements in stone blocking. The size of the common bricks is 44 x 28 x 8 cm.

The common ancient earthen building cultures legacy in the Mediterranean region

The coming of the Antonine Dynasty (Nerva, Trajan, Hadrian, Antonin the Pious, Marc-Aurele, Comode), by the IInd century A.C., will extend the “*pax romana*” over the fareast dimensions of a Roman Empire reaching its apogee at the end of this century. On purpose of the building culture, this brightening up of the Empire corresponds to the development of a burnt brick civil construction, particularly for the blocks of flats (“*insulae*”) which are increasing in number in most of the Roman cities (the “*insulae*” of Ostia are among the best examples of such a urban domestic architecture). But the construction in earth, in unbaked bricks or “*pisé*”, will still predominate in most regions for the popular and rural architecture. Beyond the Fall of the Roman Empire, these buildings practices will quasi definitively mark the rural and a great part of the urban people’s housing construction, particularly over the Mediterranean regions, up to the modern times. This cultural legacy has resisted to the coming back to the dark times of the High Middle Ages (from the Vth to the Xth centuries) that have known a regression to more common and simple building practices. In Italy, where various rural traditions can be still observed ; that one of the “*casoni*”, in the “*Friouli*”, or that of the “*pinciaie*” of Abruzzi. But also the “*ladriri*” of the Sardinian “*Campidani*” (from Cagliari to Oristano) which could be certainly connected to the ancient Carthaginian influences (see **Pl. 8**). Equally for the Iberian Peninsula. In Spain, region of Catalonia (around Barcelona), where people was still building in “adobe” and in “*pisé*” (“*tapia*”), only just twenty years ago (see **Pl. 8 and 9**). Also in “*Tierra de Campos*” (Castilla and Leon, North of Valladolid and Palencia), where a very nice tradition of pigeon towers can be still observed (see **Pl. 9**) ; In Portugal with the similar building culture of “*taipa*”, in the region of Algarve where, closely to the border of Spain, can be still observed the legacy of the typical “*Al Andalus*” earthen building process which is inherited from the period of occupancy of the Moors : the thick walling built up in “*tapial*” are faced with a raw stonework masonry put up with a lime mortar (see **Pl. 10**). In France, the vernacular earthen architectures are a typical feature of the rural landscape in almost all regions of the country. The northern territories are typically concerned by the tradition of the construction in posts and beams (“*colombage*”) filled up with wattle and daub or “*torchis*” as we can observe in Champagne, around the city of Reims (see **Pl. 11**) where a local tradition of the unbaked brick was also developed along the Marne River valley (see **Pl. 11**). In the south, the Mediterranean legacy of Ancient Greece and Rome, the Carthaginian inputs and more recently the Arabic influences, are particularly evident : “adobe” (unbaked brick) all over the southern territories, from Aquitania (see **Pl. 11**) to Provence, “*pisé*”, all along the Rhone and Saone River valleys up to the Forez (Auvergne, Central Massif), and in Dauphiné (North of Isere) ; (see **Pl. 12**).

Everyone travelling in Morocco can observe the “*maâlems*” (traditional master masons) still building houses, or fencing walls, in “*leuh*” (“*pisé*”), nearby the townships settled in the Draâ and Dades river valleys, from Ourzazate to Zagora (border of Mauritania), or to Boulmane. Effectively, in South Morocco, as in the Atlas mountains, the tradition of the “*Kasbah*” and “*Ksour*” (fortified farms and rural villages), is undoubtedly one of the most brightening up “*pisé*” building culture in the world. Was this tradition influenced by the Ancient Mediterranean earthen building cultures (Carthaginian and then Roman), or by cultural inputs coming from much far away (Arabic peninsula), with the penetration of Islam across central Africa (the Art of the Mosques in the “*Sahil*”, Delta of Niger in Mali that has been occupied by Moroccans several centuries ago) ? Both hypotheses are still under discussion. Recent projects have been launched, during the eighties of the last century that have contributed to a fashionable revival of the “*pisé*” construction in Morocco. In the generation of new architects, Elie Mouyal and Charles Boccara were – and still are – the developer of such a post-modern “*pisé*” and “adobe” architecture which is reinterpreting the legacy of an historical tradition tracing back to ancient times and promoting a local syncretism between the Greek, Roman and Islamic styles. And who can ignore the importance of the work done by the great Hassan Fathy, in Egypt, who has reactualized the adobe architecture in vaults and cupolas taking roots in the vernacular Nubian tradition (beyond Aswan) ?

³⁶ Slim, Hedi, « *La Tunisie* » (Tunisia), in DAF n°2, op.cit., note 29, pp. 35-45.

What future for such an exceptional cultural legacy ?

The earthen architecture is existing ! Toward a revival

If, in so-called industrialised countries, the earthen construction has been regressing since the Second World War, it is still existing in most developing countries. On the one hand, the industrialisation of the construction was pushing out traditional building cultures that were considered as obsolete and not adapted to a general euphoric aspiration to the technical progress. A new set of modern building technologies (reinforced concrete, steel, glass, plastic and polymers), imposing much more professional specialisation and division of labour, was rejecting ancient practices founded on the mutual aid of the communities. On the other hand, in developing regions, the lacking of industrialised building materials, very costly in imported currencies and energy, the brutalist transfer of the occidental technologies, by now much more culturally, socially and economically contested, are inviting to consider again the relevance of the local resources and cultural know-how. In the “North”, we observe a much more shared caring taken to the heritages (their preservation, conservation and rehabilitation), the coming out of a qualitative questioning reacting against the making of architectural landscapes a commonplace and exhibiting an international style, a world-wide “transculturation”. The threats faced by our natural environment are mobilising larger sections of our developed societies. In this context, a new cultural, social and economical attention given to the earthen architectures can emerge. In the “South”, the earthen building cultures are still living practices, as well as in urban contexts (peripheries), as in rural areas. Most of the time, the earth is still the main accessible (financially) material for the major part of people who has no other choice to use it for sheltering with dignity. Here, the coming back to the earthen construction is not only circumstantial. It is also voluntary and bears a “vision” of what could be a self-centred development that could be founded on different and local political, social and economical strategies that are closely connecting “culture & development”.

“A material is not so interesting in itself but for what it can do for society” as was saying the architect John F.C. Turner, thirty years ago. Since these seventies, dramatically affected by the so-called “Energy Crisis”, industrialised countries are searching for alternatives to the building industry practices which are accounting in an overexploitation of not renewable resources (wood, sand, riverside aggregates, ...), in a continuous increase of the energetic bill (oil, nuclear energy) for the production of the building materials, their use in construction and for the comfort management (heating and air conditioning). On the other hand, the injuries which are generated by the construction industry – esthetical and visual (open air quarries), health damages (materials with secondary pathogen effects as asbestos) – the growing of urban violences much more associated to what we call now the “dictatorship of the concrete”, are more and more publicly criticised. This socio-cultural critic is raised and carried up by an environmentalist tendency that is becoming an anti-internationalisation movement the width of which is now reaching, with similar commitments, the developing countries (India as spearhead ³⁷). The global approach is now clearly opposed to the local one, and a new concept is raising : this of “*glocal*”. Some are declaring that is it the time now “to dismantle the development for remaking the world ³⁸” ? Based of such considerations, the earthen construction, as numerous other traditional techniques, might be one of the answers for a “post-development”.

Just a glance at the mobilisations in Mediterranean countries

All over the occidental Mediterranean countries, the earthen architecture rebirthing movement is in progress. After having welcomed the “7th International Conference on the Conservation and Restoration of Earthen Architecture”, “Terra 93”, in Silves, Algarve, the “Dirección Geral de Edifícios y Monumentos Nacionais” (DGEMN, Ministry of Housing) of Portugal has created the “Escola Nacional de Artes e Ofícios Tradicionais”, institutionalising a “Programa Pedagógico, Curso de Construção Civil Tradicional Construção de Terra” ³⁹. In this school that is training future craftsbuilders and contractors, located in Serpa (Southeast of the country), young people can learn the adobe and “*taipa*” (“*pisé*”) building techniques to use them for the restoration of the national earthen architectural heritage, or for developing a contemporary architecture. Spain begins to worried about the conservation, maintenance and revival of its so nice “*tapia*” heritage located in “*Tierra de Campos*” now exposed to great threats of destruction because of an endemic exodus of the local population to big towns, pushed away by the searching of employment and better living conditions (the agricultural regulations of the European Community have contributed to a radical change of the

³⁷ Considering the position of leaders of such commitments in India, as Dr. Vandana Shiva (See « *Biopiracy. The Plunder of Nature and Knowledge* », ed. South End Press, Boston, Mass. USA), or Arundhati Roy (see her struggle against nuclear weapons and also against the construction of giant weirs in the Narmada Valley).

³⁸ As the recent issue of the magazine « *The Ecologist* », was suggesting.

³⁹ National School of Arts and Traditional Craft including a « *Pedagogical Programme; Traditional Civil Construction Course on Earthen Construction* ».

structure of the local rural economy). Italy has created its ICOMOS Sub-Committee for Earthen Architecture (AICAT), has multiplied venues and conferences on this subject in order to promote a national network of specialists. This country counts now on nine studying groups with university settings, which are dedicated to the research and education covering the field of earthen architecture⁴⁰. In Sardinia, an important programme for the conservation of the traditional architecture of the “*Campidani*”, built in “*ladriri*” (“adobe”), has been launched some 10 years ago, which is supported by the regional authorities. France has already invested in this movement since the last 25 years contributing to activate co-operation programmes with African countries, in order to mobilise, update and modernise vernacular earthen building traditions for answering to a fantastic demand of low-cost social housing where the majority of people can not access to wealthy modern materials. The UNESCO Chair “Earthen Architecture, building cultures and sustainable development” which has been set in the School of Architecture of Grenoble, in the year 1998, has already contributed to develop specialised teaching programmes in the official curricula of several African universities : in Uganda, Nigeria, South Africa. In France several regional groups gathering professionals (architects, building contractors, scientists), now attempting to federate their efforts in a national network called “*Ecobâtir*” (Ecological construction), are developing studies and projects aiming at promoting the conservation of our national earthen architectural heritage and the new construction in earth. Recently, a “Global Contract for Development”, supported by the main regional and local territorial communities of the Rhone-Alps Region (Southeast of France), has included in its economical and cultural objectives of development an action entitled “valorisation of the *pisé*”. This programme that concerns 46 communes of North Isere has been launched last year and will run up to theyear 2005. This movement for a revival of the earthen architectures that took place in the previous quoted countries is now enlarging its impacts and inputs to many other parts of Europe. So were recently created in England (Devon) the “*Out of Earth*” movement, and in Germany (in the “*Die Grünen*” motion), the “*Lehmbau*” network, which are already both very active. Who will stay more out of concern of such an international Renaissance of the Earthen Architecture ?

The recent international mobilisation for the safeguarding of the earthen architectural heritage.

During the year 1987, the “*5th International experts meeting on the Conservation of Earthen Architecture*”⁴¹ that has been held in Rome, jointly organised by ICCROM and CRATerre, was finally recommended to push on the development of a specific set of institutional activities in this field. These activities should mainly focus on a specialised education and should support the setting up of specialised teaching programmes in academic institutions. The educational dimension of this project was justified by an evident statement shared by several international organisations : the dramatic lack of professional competencies that should be necessary for conserving a world-wide earthen architectural heritage (archaeological sites and historical buildings) threatened of destruction. In 1989, following this recommendation, a specific project is inaugurated, jointly defined by CRATerre and ICCROM, the “*Project Gaia*”, adopting as main objectives : i) the development of professional training courses ; ii) scientific investigations ; iii) co-operation projects and, iv) the dissemination of the knowledge. From this time, four international courses on “The Preservation of the Earthen Architectural Heritage” (“PAT” Courses) will be successively organised in the School of Architecture of Grenoble (France), in 1989, 1990, 1992 and 1994. Supported by a reflection on the didactics, the pedagogy and the teaching methodologies, this initiative is growing and leads in 1994 to the creation of the “*Project TERRA*” that enlarges the initial partnership of ICCROM and CRATerre to the Getty Conservation Institute (GCI, Los Angeles, USA). Considering the importance of the strengthening of specialised regional centres, this remodelled project has already organised two “*Pan-American Courses on the Conservation and the Management of Earthen Archaeological and Historical Earthen Architecture*” that have taken place in Peru, in 1996 and 1999. They have been organised in partnership with the “*Instituto Nacional de la Cultura*” and its regional office “*La Libertad*”, located in Trujillo. These courses have directly gained from the facilities of the site museum of Chan Chan, from the archaeological site itself (Chimú Epoch, 9th-11th centuries A.C.), and from other sites of the Moche and Chicama Valleys, “*Huaca de la Luna*” y “*Huaca del Sol*”, “*El Brujo*”. These two courses have strongly contributed to the setting up of a regional specialised centre, based in the site museum of Chan Chan, and to the definition and editing of the “Chan Chan Management Plan”. They have also given an impulse to the exchanges of experiences among a larger international network of professionals (historians, archaeologists, architectural conservators, architects, cultural site managers) that has been initiated since 1989 with the previous “PAT” Courses organised in France. Since that time, this

⁴⁰ These groups are set in the universities of Torino, Milano, Genova, Udine, Venecia, Firenze, Macerata, Pescara and Cagliari.

⁴¹ This meeting was following previous scientific events covering the topic: in November 1972, Yazd, Iran, « *First International Conference on the Conservation of Monuments built in Unbaked bricks* » ; in March 1976, still in Yazd, « *Second International Symposium on the Conservation of Monuments built in Unbaked bricks* » ; in October 1977, Santa Fe, USA, « *Working Session on the Adobe Preservation* » ; in September-October 1980, Ankara, Turkey, « *Third International Symposium on the Earthen brick (adobe) Preservation* ».

international network has had several opportunities to be gathered, thanks to successive international conferences that have been held in USA (“*Adobe’90*”, in Las Cruces), in Portugal (“*Terra’93*”, in Silves) and in England (“*Terra 2000*”, in Torquay). Simultaneously, over the past few years, the “*Project TERRA*”, has given its support to the organisation of several other national conferences or events : in England, Italy, Germany, Czech Republic, favouring the creation of several ICOMOS “*Sub-Committees on the Study and Conservation of the Earthen Architecture*”. The “*Project TERRA*” has also launched and supported several scientific research activities. Among them can be raised up the publication of a first specialised bibliography covering the field, a “*Research Index*”, a “*Literature Review*”, a preliminary reflection aiming at “*structuring the discipline of the earthen architecture conservation*”, and more recently, a fundamental scientific research on the cohesion and the loss of cohesion of the earth material ⁴².

In this favourable context that has enlarged the awareness for the conservation of earthen architectures, that has allowed the emerging recognition of a specialised disciplinary field, other several important projects are now carried out. They are confirming the commitment of much more international and national organisations in charge of the cultural heritage conservation. In this direction, such organisations as the World Heritage Centre and the Division of the Cultural Heritage of UNESCO, the Japan Trust Fund, the Getty Grant Programme, the World Monument Watch, numerous national institutions, and much more specialised experts as well as professionals, all over the world, are playing an essential part. This is resulting, among other important facts, in the entering of precious earthen archaeological sites and historical buildings on national lists of monuments, or on the prestigious World Heritage List. This dynamic process is notably worth reading in Africa, with the commitment of numerous African Cultural Ministries, museums and professionals participating to the development of the Programme “*Africa 2009*” ⁴³. Other exemplary projects have been launched. Among them it is worth to raise up the “*Chogha Zanbil Conservation Project*”, which has been launched in 1998, carried out by the Iranian Cultural Heritage Organisation (ICHO) and the Research Centre for the Conservation of Cultural Relics (RCCCR), in partnership with UNESCO and Japan Trust Fund ⁴⁴. But, so many other examples could be quoted here that are very encouraging for the future of the earthen architecture conservation and “*mise en valeur*”.

Conclusion

Preserve the techno-diversity : an essential option for tomorrow

For warranting this so-called “*sustainable development*” – or maybe “*post-development*” -, the new paradigm of the IIIrd millennium founded on a global alliance aiming at protecting the biodiversity, haven’t we the obligation to preserve and pass on the cultural memory which is conveying intangible sense and values that are so indispensable to every living society ? Is not there any alternative for conserving our architectural heritages expressing shared universal values ? On such a point of view, the earthen architectures - existing over all continents - should not be essential to this protection and passing on of our inherited cultural, bio and techno-diversity ? Might not they offer an alternative to this homogenising building and architectural transculturation that could be devastating ? In this way, it should be upon the

⁴² See : “*projet Gaia project*”, « *Bibliography on the Preservation Restoration and Rehabilitation of Earthen Architecture* », ed. CRATerre-EAG-ICCROM, Rome, Italy, 1993, 136 p. (900 documentary references). The « *Research Index* » has been published by the “*Project TERRA*”. Based on a wide survey carried out close to architectural conservation professionals, it precises the main scientific research directions for the next years, according to the professionals’ needs and expectations. The « *Literature Review* », prepared and drafted by CRATerre-EAG (Arch. H. Guillaud), and then revised by a corpus of North American and European scientists covering various fields of research, will be published by the GCI late 2002. The research on the cohesion and loss of cohesion of the earth material is driven by CRATerre-EAG (Eng. Hugo Houben), in partnership with GCI and ICCROM Research Units and several other Research laboratories and Units of French universities-UMR-CNRS.

⁴³ The Programme « *Africa 2009* » has been launched in 1998. It is carried out by African cultural institutions, in partnership with the World Heritage Centre of UNESCO, ICCROM and CRATerre-EAG. It has already contributed to : i) the realisation of three « *Regional Courses on the Conservation and Management of the African Earthen Architectural Heritage* » in Nairobi, Kenya (1999 and 2001) and in Porto Novo, Benin (2000), for professionals working in Sub-Saharan countries ; ii) the realisation of seminars gathering the directors of African museums ; iii) the launching of research activities resulting in publications ; iv) the raising up of an African professional network editing now its own Newsletter ; v) the carrying out of much more experts’ missions resulting in the classification of remarkable African sites on national lists of monuments and on the List of the World Heritage, with the definition of correlated management plans.

⁴⁴ The first phase of this project (1998 - 2002), has already given valuable outputs : i) the carrying out of a preventive conservation programme on the main architectural structures of the site, the prestigious Ziggurat, the Hypogeum Palace, the Water-Tank ; ii) the development of a spectacular experimental and scientific research programme on the local building materials (geology, unbaked brick, earthen and traditional “*khâ-gel*” mortars, baked bricks), the reactivating of archaeological researches on the site of Chogha Zanbil and at Haft Tappeh ; iii) the setting up of a specialised centre at Haft Tappeh around a team of young architectural conservators and scientists coming from three Iranian universities preparing their diploma in architectural conservation and PhD thesis ; iv) the holding, in February 2000 of a « *First national course on the conservation and management of earthen structures* » for Iranian professionals and students in architectural conservation, the holding, in February-March 2002, of a « *First Regional Course on the Conservation of Earthen Structures* » that have been opened to professional coming from Central Asian countries. Project ICHO-RCCCR, Cultural Division of UNESCO, Japan Trust Fund and CRATerre-EAG.

indissociable triptych “conservation – sustainable development – modernity” that could raise a “vision” for a recreated future of the earthen architectures useful for the coming out of more viable societies generating new specific as diverse equilibriums between “men”, their environments and their cultures.

Effectively, today, there are great threats for evacuating the techno-diversity, for imposing more, and much more, uniformity. Conserving the earthen architectures and the memory of the building cultures, might be a way to found concrete hopes for the transmission of the techno-diversity to present and future generations. To safeguard an evolutionary balance between nature and culture, between “*oikos*” and “*tecné*”. Without any nostalgic feeling, is not there an evidence of harmony between natural (physical) and cultural (fitted-on) landscapes ? An evidence of alliance between biodiversity and techno-diversity which is so often characterised by the world-wide vernacular architectures ? Is not there an evident fantastic creativity of numerous traditional builders in this clever use of local cultures, know-how and resources, and a so exact respectful attitude of the environment ? In too sacrificing to the modernism, Promethean attitude, is not Man committed on the path to a scheduled tragedy ? That of a break-up between nature and culture ? The maintenance of the techno-diversity might not bring answers to a wide set of crisis now faced by humankind ? Energy crisis (exhaustion of fossil energies ⁴⁵) ; crisis in the production of manufactured materials (more and more costly and inaccessible for a great part of the world population) ; development and employment crisis (how to create more jobs when the technological progress is suppressing them every day for more and more people ?) ; crisis of cultural identity (architectural and landscaping transculturation) ; housing crisis (according UNO, about 50 % of the world population is badly housed or without shelter) ; housing production crisis (the formal production systems are only answering to the solvable demand of the middle and upper classes ; self-construction and informal forces are attempting to alleviate the deficiencies of the formal system) ; environmental crisis (in several regions, it is now impossible to build with wood : African Sahelian regions, Niger, Burkina Faso, Mali, North Nigeria) ; industrial pollutions (how many industries are classified in the range of the “Seveso risk” ?) ; physical discomfort (much more people is yearning for living in healthier dwellings and leaves the towns for buying private houses in new fashionable compounds, or prefer to restore traditional houses ; and this is a luxury for developed regions !) ; crisis of History (the cultural values of the architectural heritage are cared with unprecedented attention ; we classify, conserve, enhance, we “manage” the heritages that are contributing to maintain a presence and a sense of History and identity).

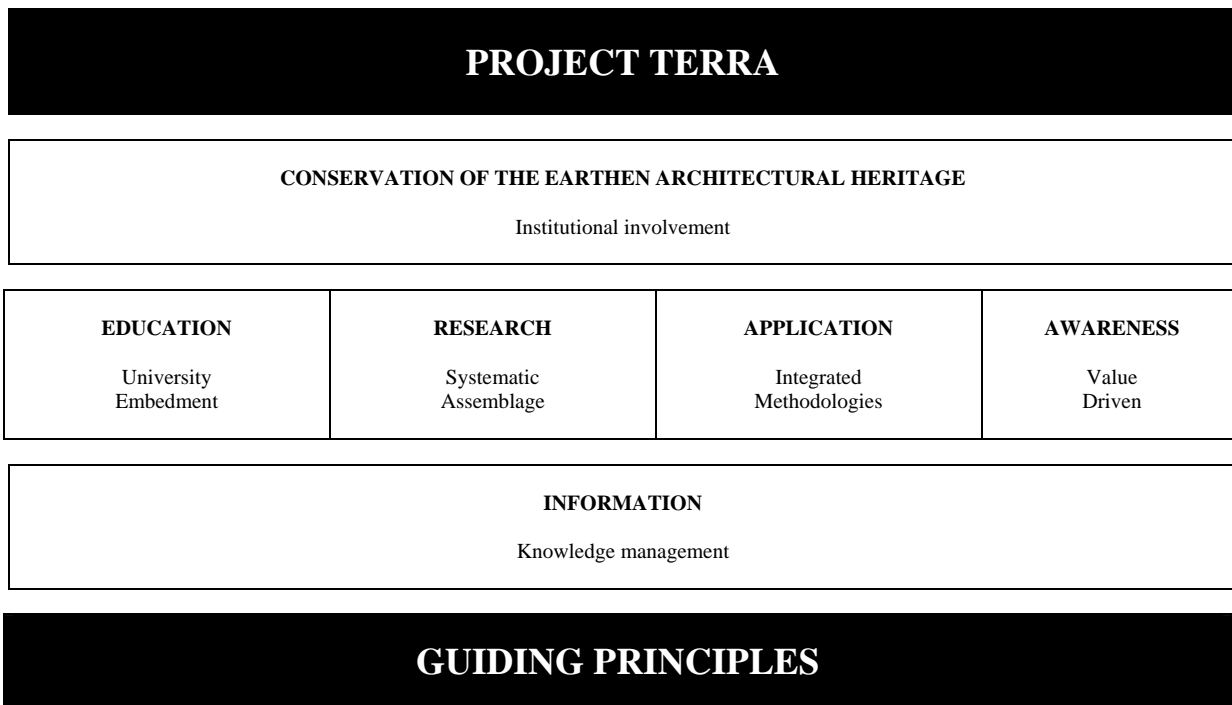
The erosion of the techno-diversity comes under a cultural amnesia, the consequences of which could be dramatic for the worldwide socio-economical system. The preservation and the revival of this techno-diversity are becoming a factor of vitality for the future of the planet. But, considering the challenge for the coming out of a sustainable development, we have to produce a huge effort for taking stoke of our techno-diversity, for a better knowledge and more understanding of this “building intelligence” (see Jean Prouvé ⁴⁶), and go on updating, enriching our cultural legacy by a more appropriate use of the potential of our technologies ⁴⁷. But, there is another danger : to be frozen in an “illusion of the permanence”, that is also an untenable “reactionary” attitude. Based on such considerations, the conservation of the earthen architectural heritages, the sustainable development of a scientific research and specialised education in this field, today, are undoubtedly a decisive contribution for tomorrow ; this is part of a shared effort - to be developed at the world scale - aiming at reconcile Man and History, and with its cultural diversity that we have now to consider as a paramount option and vector for a “local” development to be balanced with a “global” development. This is a possibility for opening new paths to a “post-development” which could not be only based on the omnipotence of money (profit) and macro-techniques which are generating much more cultural, social and material impoverishment, too much more unacceptable human poverty.

⁴⁵ In some countries, the reserve of oil will be exhausted during the next 50 years. We already see the development of such a war for oil conducted by consuming countries !

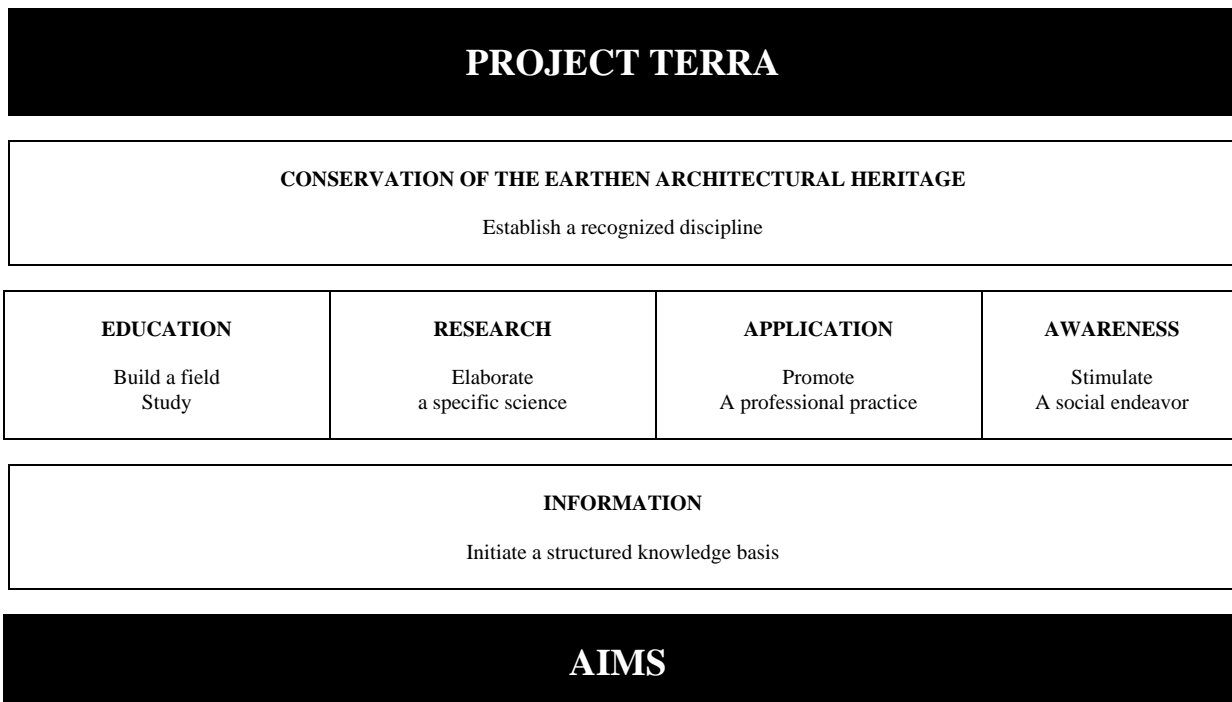
⁴⁶ Jean Prouvé is a French engineer who specialised in steel construction and who defined this concept of « building intelligence » when he was searching for the best appropriate use of building materials.

⁴⁷ See for instance the stabilisation of earthen building materials that has given birth to the actual roadway technology or to the stabilised compressed earth block. See also the researches and experimentations which have been developed in chemical consolidation

The Project TERRA guiding principles



The Project TERRA aims



BIBLIOGRAPHY :

- Agache et Bréart 1983 :** AGACHE, Roger et BRÉART, Bruno - *La terre crue dans les constructions traditionnelles*, in Les dossiers histoire et archéologie, n° 79, 1983, pp. 16-23.
- Aurenche 1985 :** AURENCHE, Olivier - *Du village à la ville*, in le Grand Atlas de l'Archéologie, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, pp. 168-169.
- Aurenche 1993 :** AURENCHE, Olivier - *L'origine de la brique dans le Proche Orient Ancien*, in *Between the rivers and over the mountains*, Archaeologia Anatolica Et Mesopotamica Alba Palmieri Dedicata, Dipartimento di Scienze Storiche Archeologiche e Antropologiche dell'Antichità, Università di Roma "La Sapienza", Rome, 1993, pp. 71-85.
- Aurenche 1977 :** AURENCHE, Olivier (sous la direction de), CALLOT, Olivier (dessins) - *Dictionnaire Illustré Multilingue de l'Architecture du Proche-Orient Ancien*, Institut français d'Archéologie de Beyrouth (Liban), publication hors série, Collection de la Maison de l'Orient Méditerranéen Ancien n° 3, Série Archéologique 2, éditions de la Maison de l'Orient, Lyon, 1977, 391 p.
- Bernard 1972 :** BERNARD, P. - *Campagne de fouilles à Ai Khanoum (Afghanistan)*, C.R.A.I., 1972, pp. 605-632.
- Besenal 1984 :** BESEVAL, Roland - *Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 1*, 196 p. et *Technologie de la voûte dans l'Orient ancien 2*, 224 planches, synthèse n°15, éditions Recherche sur les Civilisations, CNRS, Paris, 1984.
- Biran 1994 :** BIRAN, Avraham - *Biblic Dan*, in Israel Exploration Society, Hebrew Union College – Jewish Institute of Religion, Jerusalem, 1994, pp. 75-90.
- Bourgeois et Pelos 1989 :** BOURGEOIS, Jean-Louis and PELOS, Carrolle - *Spectacular vernacular*, 1989.
- Burney 1961 :** BURNEY, C.A. - *The Excavations at Yanik Tepe, Northwest Iran, Iraq*, vol. XXIII, 1961, pp.138-153.
- Caton 2^{ème} s. av. n.è. :** CATON - *De Agricultura*, 14, 4.
- César 1er s. av. n.è. :** CÉSAR - *De Bello Galico*, I, 5, 2; II, 7, 3; III, 29, 3; IV, 19,1; VI, 6,1; VII, 14,5.
- Charles-Picard 1958 :** CHARLES-PICARD, Gilbert. et C. - *La vie quotidienne à Carthage au temps d'Hannibal*, (III^{ème} siècle av. J.C.), Paris, 1958.
- Charles-Picard 1980 :** CHARLES-PICARD, Gilbert - *Les Phéniciens autour de la Méditerranée, dernières découvertes*, in revue Archeologia Les Phéniciens, n° 146, 1980, pp. 6-21.
- Cleuziou 1985 :** CLEUZIQU, Serge - *Le Proche-Orient ancien, Les villes du plateau iranien au III^{ème} millénaire*, in Le Grand Atlas de l'Archéologie Universalis, Paris, 1985, pp. 184-185.
- Columelle 1^{er} s. ap. n.è. :** COLUMELLE - *De Re Rustica*, X, 1, 2 et XI, 3, 2.
- De Chazelles et al. 1985 :** DE CHAZELLES, Claire-Anne, FICHES, Jean-Luc et POUPET, Pierre - *La Gaule Méridionale*, in DAF n°2, *Architectures de terre et de bois*, Paris 1985, pp. 61-71.
- De Chazelles et Poupet 1984 :** DE CHAZELLES, Claire-Anne et POUPET, Pierre - *L'emploi de la terre crue dans l'habitat gallo-romain en milieu urbain : Nîmes*, in Revue Archéologique de Narbonnaise, 1984, Tome XVII.
- De Chazelles et Roux 1988 :** DE CHAZELLES, Claire-Anne et ROUX, Jean-Claude - *L'emploi des adobes dans l'aménagement de l'habitat, à Lattes, au III^{ème} siècle av. n. è. : les sols et les banquettes*, in Lattara 1, 1988, pp. 163-173.
- De Contenson 1979 :** DE CONTENSON, Henri, 1979 - *Tell Ramad, village syrien des VII^o et VI^o Millénaires*, in Revue Archeologia n° 33, 1979, p. 69-73.
- Delougaz et al. 1967 :** DELOUGAZ, P., HILL, LLOYD, 1967 - *Private houses and graves in the Dilaya Region*, O.I.P., vol. LXXXVIII, Chicago, 1967.
- Desbat 1985 :** DESBAT, Armand - *La région de Lyon et de Vienne*, in Documents d'Archéologie Française n° 2, *Architectures de terre et de bois*, 1985, pp. 75-83.
- Dion Cassius 2^{ème} – 3^{ème} s. ap. n.è. :** DION CASSIUS - *Histoire Romaine*, XXXIX, 61.
- Ferron et Pinard 1960-61 :** FERRON, J. et PINARD, M. - *Cahiers de Byrsa, IX*, 1960-1961, pp. 95-96.
- Fiches 1979 :** FICHES, Jean-Luc - *Habitat et fortifications, la civilisation des oppida*, in Archeologia n° 35, 1979, pp. 67-75.
- Ghirshman 1966-68 :** GHIRSHMAN, Roman, 1966-1968 - *Mémoires de la Délégation Archéologique en Iran, Mission de Susiane*, Tomes XXXIX et XL, *Tchoga Zanbil*, Vol. I, *La Ziggurat*, 134 p., 99 planches, et Vol. II, *Temenos, Temples, Palais, Tombes*, 159 p., 99 planches et plans, Librairie Orientaliste Paul Geuthner, Paris, 1966-68.
- Gullini 1970-71 :** GULLINI, Giorgio - *Struttura e Spazio nell'Architettura Mesopotamica Arcaica, da Eridu alle soglie del Protodinastico*, Università di Torino, ed. Giappichelli, Torino, Italia, 1970-71, p. 187.
- Hansmann et Stronach 1970 :** HANSMANN, J., STRONACH, D. - *Excavations at Shahr-i Qumis*, 1967, J.R.A.S., n° 1, , 1970, pp. 29-62.
- Hérodote 4^{ème} s. av. n.è. :** HÉRODOTE - *Histoires*, éd. Les Belles Lettres, Paris 1932.
- Holtzmann 1981 :** HOLTZMANN, Bernard - *Le monde grec, Les habitats pré- et protohistoriques*, in Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale Universalis, Paris, 1981, pp. 132-133.
- Holtzmann 1985 :** HOLTZMANN, Bernard - *Le second début de l'architecture grecque*, in Le Grand Atlas de l'Archéologie Universalis, Paris, 1985, pp. 70-71.

- Holtzmann 1981** : HOLZTMANN, Bernard - *Les Habitats pré-et protohistoriques, Rome primitive et l'architecture étrusque*, in Le Grand Atlas de l'Architecture Universalis, Paris, 1981, pp. 156-157.
- Holtzmann 1981** : HOLZTMANN, Bernard - *Les Habitats pré-et protohistoriques, L'architecture romaine à l'époque républicaine*, in Le Grand Atlas de l'Architecture Universalis, Paris, 1981, pp. 158-159.
- Huot 1981** : HUOT, Jean-Louis - *Le Proche-Orient, Sumériens, Élamites, Hittites*, in Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale Universalis, Paris, 1981, pp. 108-109.
- Huot 1981** : HUOT, Jean-Louis - *Le Proche-Orient, Assyriens et néo-babyloniens* in Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale Universalis, Paris, 1981, pp. 110-111.
- Huot 1981** : HUOT, Jean-Louis - *Le Proche-Orient, Perses et Sassanides*, in Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale Universalis, Paris, 1981, pp. 112-113.
- Huot 1985** : HUOT, Jean-Louis - *Le Proche-Orient ancien*, in Le Grand Atlas de l'Archéologie Universalis, Paris, 1985 : pp. 174-175.
- Kenyon et Holland 1981**: KENYON, K.M. , HOLLAND, T.A. - *Excavations at Jericho III*, London, British School of Archaeology in Jerusalem, 1981.
- Koldewey 1918**: KOLDEWEY R. - *Das Ishtar Tor in Babylon*, W.V.D.O.G. 32, 1918.
- Kruglikova 1974**: KRUGLIKOVA, I. - *Delbarjin : fouilles 1970-1972*, vol. I (in Russian with a summary in French), Moscou, 1974.
- Lancel 1979-82** : LANCEL, Serge (sous la direction de) - *Mission Archéologique Française à Carthage, Rapports préliminaires des fouilles (1974-1976)*, 2 volumes, *Byrsa I*, 337 p. et *Byrsa II*, 417 p., Collection de l'École Française de Rome, 41, éditions de l'École Française de Rome, Palais Farnèse, 1979 (Vol. 1) et 1982 (vol. 2).
- Lequément 1985** : LEQUÉMENT, Robert - *L'apport des textes antiques*, in LASFARGUES, J. (Dir.), *Architectures de Terre et de Bois*, Documents d'Archéologie Française n°2, éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris 1985, pp. 31-32.
- Margueron 1983** : MARGUERON, Jean - *Emar une ville sur l'Euphrate*, in *Archéologia*, préhistoire et archéologie, n° 176, Paris, 1983, pp. 21-36.
- Margueron 1984** : MARGUERON , Jean-Claude - *Eblouissante richesse de Mari sur l'Euphrate, Enceinte sacrée et palais, La maison d'habitation*, in *Les dossiers histoire et archéologie*, n° 80, Paris, 1984, pp. 26-31.
- Margueron 1984** : MARGUERON, Jean - *Le célèbre Palais de Zimri-Lim*, in *Les dossiers histoire et archéologie*, n° 80, pp. Paris, 1984, 38-48.
- Margueron 1985** : MARGUERON, Jean-Claude - *Le Proche-Orient ancien, Le temple syrien : prototype du temple de Salomon*, in Le Grand Atlas de l'Archéologie Universalis, Paris, 1985, pp. 192-193.
- Margueron 1991** : MARGUERON , Jean-Claude - *Mari ou la "naissance" d'une ville neuve*, in *Revue Autrement, Cités disparues. Découvreurs et archéologues au Proche-Orient*, n° 55, Paris, 1991, pp. 133-142.
- Margueron 1993** : MARGUERON, Jean-Claude - *Premiers regards sur les solutions techniques mises en œuvre à Mari (Syrie) vers 2500-2000 av. J.C., pour la conservation de l'architecture de terre*, in *Comunicações, 7ª Conferência Internacional sobre O Estudo E Conservação Da Arquitectura De Terra*, éditions D.G.E.M.N. du Portugal, Lisbonne, 1993, pp. 299-303.
- Mellaart 1965** : MELLAART, James - *Earliest civilizations of the Near East*, éditions Thames and Hudson, Londres, 1965.
- Mellaart 1967**: MELLAART, James - *Çatal Hüyük, a Neolithic town in Anatolia*, éditions Thames and Hudson, Londres, 1967.
- Merpert et al. 1973**: MERPERT, N., MUNCHAEV, R., et BADER, N. - *The investigations of Soviet Union in Iraq*, *Sumer*, XXXII n° 1 et 2, 1973, pp.25-61.
- Oates 1965-72**: OATES, D. - *The Excavations at Tell Al Rimah*, 1965,66,67, 68,70, 72, Iraq, vol. XXVII, XXVIII, XXIX, XXX, XXXII, XXXIV.
- Palladius 4^{ème} s. ap. n.è.** : PALLADIUS - *Opus agriculturae*, I, 34, Traduction Les Belles Lettres, Paris, réédition en 1976.
- Pline 1^{er} s. ap. n.è** : PLINE L'ANCIEN - *Naturae Historiorum*, XXXV, 14-48.
- Reuther 1926**: REUTHER, D. - *Die Inner Stadt von Babylon (Merkes)*, W.V.D.O.G. 47, Leipzig, 1926.
- Roaf et Stronach 1970**: ROAF, M., STRONACH, D - *Tepe Nush-i Jan, 1970 : Second Report*, Iran, vol. XI, 1970, pp. 120-140.
- Rudovsky 1987**: RUDOVSKY, Bernard - *Architecture without architects*, 1987.
- Sinos 1971**: SINOS, S. - *Die vorklassischen Hausformen in der Agais*, Mainz, Ph.von Zabern, 1971.
- Slim 1985**: SLIM, Hedi - *La Tunisie*, in LASFARGUES, J. (sous la direction de), *Documents d'Archéologie Française n° 2, Architectures de terre et de bois*, Paris, 1985, pp. 35-45.
- Speiser 1935**: SPEISER, E.A - *Excavations at Tepe Gawra*, vol. 1, levels I-VIII, Philadelphia, 1935.
-

Strabon 1er s. av. et 1er s. ap. n.è.: STRABON - *Géographia*, IV, 4, 3 / XIII, 1, 67.

Stronach 1969: STRONACH, D. - *Excavations at Tepe Nush-i Jan, 1967*, Iran, vol. VII, pp. 1-20.

Suetone 1er – 2ème s. ap. n. è.: SUETONE, *Augustus*, 28

Tacite 1er s. Ap. n. è : TACITE, *Germania*, XVI, 3.

Tolstov et Vajnberg 1967: TOLSTOV, S., VAJNBERG, B. - *Koj Krylgan-Kala*, T. Kh. E., vol. V, Moscou, 1967.

Varron 1er s. av. n.è. : VARRON - *Res Rusticae*, I, 14, 40.

Vitruve 1^{er} s. ap. n.è. : VITRUVÉ - *De Architectura*, Voir Claude Perrault, *Abrégé des dix livres d'architecture*, éditions J.B. Coignard, Paris, 1674, 226 p. et la réédition chez Balland, Paris, 1979. Livre II, 1,3,8.

Wooley 1934: WOOLEY, L. - *Ur Excavations : vol. II, The Royal Cemetery*, New York.

Ouvrages collectifs :

Dictionnaire archéologique des techniques 1963-64 : éditions de l'Accueil, Paris, 1963 et 1964, deux volumes.

Encyclopédie d'archéologie de Cambridge 1981 : éditions du Fanal, Paris, 1981, 494 p.

Les fouilles belges du Tell Kannās sur l'Euphrate en Syrie 1982 : in *Lorsque la Royauté descendit du ciel*, catalogue d'une exposition présentée au Musée royal de Mariemont de septembre 1982 à janvier 1983, puis au Musée de Louvain-La-Neuve, de février à mars 1983, éditions du Musée royal de Mariemont, 1982, 150 p.

LEGENDS OF THE ILLUSTRATIONS

FIGURES : NEAR-ORIENT

Fig. 1 : Adobe people's housing of the 6th Millenium B.C. at Tell Asmar (Hassuna), IVth Level. Drawing from Nagel, see Gullini, Giorgio, 1970,71, in "*Struttura e Spazio nell'Architettura Mesopotamica Arcaica, da Eridu alle soglie del Protodinastico*", Università di Torino, ed. Giappichelli, Torino, Italia, p. 187. Comments : we can already observe the structural consolidation of the earthen construction with outdoor and indoor buttresses. The roof should have been still thatched on a basic carpentry covering short spans with girders and rafters.

Fig. 2 : Adobe people's housing of the 3rd Millenium B.C. (around 2400) at Shahr-i Sokhta, Iranian Plateau. From Cleuziou, Serge, 1981, "*Les villes du plateau iranien au III^e millénaire*", in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, ed. Universalis, Paris, 1981, p. 185. Comments : we can observe the clustering process of the people's housing of those ancient times clearly associating three housing units each of them having their own fire places. The presence of staircases confirms the previous existence of one storey or one accessible flat terrace. Entrance doors should have given on narrow streets.

Fig. 3 : The excavations of the AS Zone, at Tell Al Rimah (Period of Isin Larsa, IInd Millenium B.C.), North of Iraq, have revealed the existence of vaulting systems covering narrow-spanned spaces (1 to 1,5 m.). From Oates, D., "*The Excavations at Tell Al Rimah*", 1970, vol. XXXII, pp. 1-26, in Besenval, Roland, 1984, "*Technologie de la voûte dans l'Orient Ancien 2*", éd. Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984, Pl. 114. Comments : These vaults are flattened and should have been built without casing but directly on the ground or filling up materials after having erected the walls in adobe.

Fig. 4 : Adobe clustered people's housing of the XIIIth Century B.C. at Meskene-Emar, block D (North-West part of the tell), Syria. Drawing from Callot, Olivier, in Margueron, Jean, "*Emar une ville sur l'Euphrate*", in magazine *Archaeologia*, n° 176, mars 1983, pp. 20-36, p. 31. Comments : we can observe the densification of the habitat in an urban planning design where successive blocks of houses are encircled by narrow streets. They are two-storey houses with upper terraces accessible from a high bedroom. The construction is following the slope of the natural ground and the terraces are enlightened by the sun all the day when the streets are more under shadowed. This architectural and urban design is totally actual in numerous traditional Syrian villages.

Fig. 5 : On the Site of Shahr-i Qumis, Iran, Damghan, Parthian Period, 1st – 2nd Century A.C., sites IV and VI. During those times, the Iranian earthen builders have invented a new way for covering the housing spaces, including the staircases : the "strut". From Hansman, J. and Stronach, D., 1970, "*Excavations at Shahr-i Qumis, 1967*", pp. 29-62, in Besenval, Roland, 1984, "*Technologie de la voûte dans l'Orient Ancien 2*", éd. Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984, Pl. 64. Comments : As we can observe on these isometric perspective on room IV and section on room VI, the technology of the strut has proposed different types of covering elements that have been adapted for vaulting or two-slopes roofing. On the same site of Shahr-i Qumis, Hansmann has also excavated larger rooms covered with three struts (site IV, room 3, site VII, room 5) as well as Stronach (1969) who has found such covering structures at Tepe Nush-i Jan with the vault on the room 2A. This roofing technology using light long elements made of earth and straw directly shaped and moulded on the building site have been used up to the Persian times as several corridors in the fortifications of Persepolis have shown. The abandon of this very clever building process is still a mystery.

FIGURES : MEDITERRANEAN REGION

Fig. 6 : Moulded adobe bricks at Jericho PPNA. From Kenyon, K.M. and Holland, T.A.,1981, in Aurenche, Olivier, 1993, "*L'origine de la brique crue dans le Proche-Orient Ancien*", in "*Between the rivers and over the mountains*", Rome, 1993, p. 73. Comments : these unbaked earthen bricks are shaped as small breads and should not have been very regular. We can suppose that they have been used at a plastic state (not dry) and built without mortar, just packed on together for erecting successive layers.

Fig. 7 : Moulded adobe bricks at Jericho PPNA. From Kenyon, K.M. and Holland, T.A., 1981, in Aurenche, Olivier, 1993, "*L'origine de la brique crue dans le Proche-Orient Ancien*", in "*Between the rivers and over the mountains*", Rome, 1993, p. 77. Comments : these unbaked earthen bricks are much more regularly shaped and we can observe systematic marks made by the brick maker's fingers. This might indicate that such bricks should have been possibly built at dry state with mortar, the marks facilitating the sticking between each brick.

Fig. 8 : Round shaped houses with indoor partitions at Mureybet, Syria, by the VIIth Millennium B.C. Drawing from Cauvin, J., in Huot, Jean-Louis, "*Le Proche-Orient*", in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, ed. Universalis, 1981, p. 104. Comments : the structure of these people's houses is partly embedded in the slope of the ground, back side and opened to the air at its front side with a small entrance door and space. The central room should have been the main living space with over small sleeping and storage rooms around. As we can see the structural design and position of the indoor partitions are playing a decisive play in the stability of the whole walling system and for bearing the wooden structure (probably made of jointed rafters) of a flat terraced roof. The central space seems to prefigure what will progressively evolve to the typical central patio or indoor yard of the further stage of the oriental houses. Such model from Mureybet will stay very common during the protohistory of NearOrient as well as the famous site of Mari, still in Syria, as revealed the same similar design of the famous "red house" (see Margueron, Jean, 1984).

Fig. 9 : The famous Hannibal's neighbourhood which has been excavated on the hill of Byrsa testifying of the typical people's housing of Carthage during the 2nd Century B.C. some years before the last Punic War against the Roman. From Lancel, Serge, 1982, in "*Byrsa II*", Fig. 603, p. 369. These famous blocks A, C and E and particularly the block C located between Streets I and III, are showing the typical layout of the Punic houses or "flats" gathering five to six housing units in one urban block. Each unit is similarly designed with an entrance corridor giving to an indoor yard enlightening the back living rooms. Narrow staircases, probably built in wood, were giving access to a first and evenly to a second storey. The building culture of those times, in Carthage, was very eclectic associating the stone, the burnt brick and the unbaked earth used in adobe as well as "pisé" (or rammed earth). The bearing structure was made of stone pillars filled up with those eclectic building materials in between.

Fig. 10 : The primitive house of the earlier republican times of Rome, during the Villanovian Culture, VIIIth Century B.C. From Davico, A., in Holtzmann, Bernard, 1981, "*Rome primitive et l'architecture étrusque*", in "*Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*", ed. Universalis, Paris, 1981, p. 156. During those times, the roman construction is still very primitive and houses are wooden huts made of large posts bearing a thatched roof on heavy rafters. The shape of such huts is rather oval than rectangular but we can note the specific design of a sheltered entrance door. Such huts have disappeared during the VIIth Century.

PLATES (PHOTOGRAPHS) : NEAR-ORIENT

Pl. 1

a : The Ziggurat of Chogha Zanbil, Khuzestan, Iran, Elamite site of the XIIth Century B.C. On this site, the unbaked earthen brick or "*Khesht*" in Persian, still has been the main building material for the construction of the core of the structures, not only for the Ziggurat itself but also for other main significant structures as the temples located in the *Temenos* area or the Hypogeum palace and other royal palaces and massive gates. But on the Ziggurat, the structural components have been protected with burnt bricks while all plastering devices for the outside protection have been made in "*khâ-gel*" or clayey mortar amended with chops of straw.

b : One of the most famous earthen architectural site of Iran, Arg-é Bam, located south-east of the country, after Kerman and not too far from the border of Afghanistan, while totally abandoned today and suffering of impressive decays, still testifies of the excellence of the Persian earthen building cultures. The origins of the fortress should trace back to the Sassanian times but the major part of the city as expended during the Mongol invasions. Despite an appearance of important destruction, Arg-é Bam still testifies of the excellence of the Persian earthen construction, particularly for numerous examples of roofing systems in vaults and cupolas, and also for the technology of the "pisé". An important work of conservation and restoration is now carried out which has already contributed to the restoration of the fortress, caravanserais and Koranic schools.

c : Still impressive is the famous tradition of the pigeons towers built in adobe and burnt bricks on the plateau of Isfahan, Iran. Here, by a locality called Gavart (between Isfahan and the airport), and all around, most of the traditional villages are mainly built in "*khest*" (unbaked brick), plastered in "*khâ-gel*" and exhibit the blooming of the Persian traditional know-how that have produced an earthen architecture in vaults and cupolas.

Pl. 2

a : Typical feature of the traditional people's housing in earth valorising the technology of the "cob" (thick walls in stacked packs of mud) on the Plateau of Khuzestan. Here, the roofs are terraced and particularly adapted to a dry climate.

b : The climatic adaptation of the earthen architecture in Iran has produced the famous tradition of the wind towers or "*badguirs*" which can be still observed in the desertic region of Yazd (Central Iran) and in numerous other regions suffering of a very hot climate in summer. Here, such bioclimatic devices are observed on the roofs of the "*Brugerdia house*", located in Kashan, one of the jewels of the Kajar architecture (end of the XIXth Century and beginning of the XXth Century).

Pl. 3

a : The Sultanate of Oman testifies of a very nice earthen architecture built in unbaked earthen bricks which have been traditionally conical-shaped and recently evolving to the common rectangular shape. This traditional earthen architecture of the Sultanate covers numerous examples of Forts with massive outer defensive walls and towers, or "borjs", and a nice tradition of outdoor and indoor plastering in "*sarooj*" (natural lime) or "*juss*" (gypsum) as well as earth and straw. Here the Fort of Bid Bid, on the road from Muscat to Nizwa. The Fort of Bid Bid has been restored during the 80's of the last XXth Century by the Ministry of National Heritage of Culture which has recently conducted new restoration works valorising the aesthetic of the traditional renderings.

b : Still in the Sultanate of Oman, the Fort of Bahla, located at 25 km after Nizwa, with its "*Qela'a*" (the whole fortress) and "*Qasabah*" (the Fort itself), as well as the full dimension of the oasis including pure examples of the Omani people's housing, numerous mosques and a precinct wall of about 12 km long, with massive entrance gates, has been entered on the List of the World Heritage of UNESCO, in 1987. An important project of conservation, including interventions of restoration and revitalisation has been initiated in 1995 and still now running on where the traditional Omani earthen traditional building know-how is fully valorised. A Management Plan is actually defined.

Pl. 4

a : An aspect of a recent intervention of restoration which has been recently conducted on the Fort of Bahla, Sultanate of Oman, under the site guidance of Arch. Enrico d'Errico within the project carried out by the Ministry of National Heritage and Culture and the expertise of UNESCO. Here we can observe the partial restoration and reconstruction of the "*Borj ar-Rih*", or "Wind tower", according the architectural evidence given by a documentation coming from photographs taken at the end of the XIXth Century by a British explorer, Colonel Miles. All outer plasters have been made in traditional "*sarooj*" and earth and straw.

b : Typical earthen people's housing in the South of Saudi Arabia, region of Najran. These constructions are made of successive "cob" layers (stacked packs of plastic earth). The desert climate of this region authorizes a basic protection of the more exposed parts of the structures, the top of the walls and the outer reveals of the bays that are generally plastered with natural white lime which are regularly maintained.

Pl. 5

a : In Afghanistan, close to the border of Pakistan, an example of local typical fortified rural houses, or farms, build in "cob". This building culture, in numerous regions of Afghanistan, is much more present than the adobe construction and locally called "*parsha*".

b : In Turkmenistan, the famous medieval site of Ancient Merv which has been entered on the List of the World Heritage of UNESCO in 1998. The original architectural design of the outer walls of the "*Great Kyz Kala*", built in unbaked bricks during the XIth and the XIIth Centuries A.C. is today known as a "*corrugated*" structure the shape of which having been compared with other structures of a similar type existing in Iraq.

Pl. 6

a : On the same site of Ancient Merv, visitors can observe an impressive structure built in unbaked earthen bricks, a ice house. This tradition of such big structures used for storing the snow, the ice and the cold water in big tanks deeply embedded in the ground is one of the permanent feature of the vernacular architecture of the Central Asian region.

PLATES : MEDITERRANEAN REGION

Pl. 6

b : On the slopes of the Tell of Bet She'an, Northern Israel. A particularly well preserved and wonderful example of a people's housing in unbaked earthen bricks tracing back to the Bronze Age (circa 3200 B.C.) which has been excavated by Professor archaeologist Amihai Mazar. We can clearly observe the typical structure of this house organised around a central circular space.

c : View of the eastern façade of XVIIIth Century B.C. (Middle Bronze Age) gate of the Canaanite city of Laish at Tel Dan, northern Israel. This famous triple arched gate in unbaked bricks of Tel Dan (built in three radial courses) the span of which is about 2.30 m, has been excavated by Professor archaeologist Avraham Biran. It is part of a defence system which consisted of sloping ramparts and glacis. Stone constructions have been found, built against and close to the mud structures whose successive layers are made with brown and grey coloured bricks.

Pl. 7

a : A traditional village in the region of Aleppo, Syria. Here, the earthen building culture testifies of a traditional roofing system in corbelled conical cupolas. Such structures are now very rare but this know how is tracing back to very old times as it has been confirmed by some graffiti which have been found in Niniveh (Assyrian times) evocating the rural people's of this epoch.

b : On the hill of Byrsa, Tunis, North Africa, the remains of the famous Hannibal's neighbourhood of the 2nd Century B.C. which has been excavated by the French mission under the Direction of Serge Lancel. The housing blocks A, C and E which have been surveyed by G. Robine, exhibit the typical Punic building culture, very eclectic in the use of the materials including stone, burnt and unbaked earthen bricks as well as "pisé". On the outer walls of these houses (in fact urban flats) which were sheltering metallurgist's families and their workshops, lime plasters can be still observed.

c : Detailed view of the columns in "pisé" erected by the Roman, when, some years after the destruction of Carthage, they have refilled the slopes of the hill of Byrsa for levelling a new platform which will bear the new Forum and Basilica of the Roman Carthage (1st Century A.C.). This structural performance consisting in building earthen columns for realising new footings is in fact common in the Roman engineering practices. Other similar traditions are existing in the history as this can be observed at Susa, Khuzistan, on the Darius' Palace.

Pl. 8

a : North of Spain, Province of Palencia, in Pedrosa de la Vega. The Roman Villa of La Olmedia, one of the greatest residence (33 rooms) dated from the IVth Century A.C. (late Roman Period) which have been found in Spain. The remains are exhibiting basements of walls made of unbaked earthen bricks and of stacked earth ("cob"). This view is also showing the remains of the heating system or hypocaust.

b : Typical house in unbaked earthen bricks, "*ladriri*" or "*mattoni*", in southern Sardinia, region of the "*Campidani*", village of Riola Sardo. In this region, numerous villages are built in earth and a programme for their conservation, restoration, rehabilitation and maintenance, associated to a revival of the earthen building technology has been recently launched under the guidance of the University of Cagliari in close collaboration with the municipalities. This tradition of the unbaked earthen brick traces back to Greek, then Punic (site of Tharros) and Roman times.

c : Eastern Mediterranean seaside of Spain, inland region of Catalonia, around Barcelona. Numerous villages are built in rammed earth or "tapial" which is no more a living building culture.

Pl. 9

a : North of Spain, Province of Palencia, in a land called "Tierra de Campos". The village of Medina de Rio Seco is part of a very nice vernacular earthen architectural heritage gathering numerous other villages where Christian churches are also built in "pisé".

b : The presence of numerous pigeon towers, or "palomares" is one of the typical feature of the traditional rural landscape of the region of "Tierra de Campos", Northern Spain. This tradition of round-shaped pigeon towers in "pisé" ("*tapial*") is one of the most achieved in Europe where some other nice examples can be still observed in France, in the Saone River Valley (North of Lyon) or in the region of Aquitaine (South-West of France), where these "*pigeonniers*" are built in adobe.

Pl. 10

a : The remains of the Castle of Silves, Province of Algarve, South of Portugal. The tradition of fortified castles tracing back to the period of "*Al-Andalus*" (Moore times) testifying of the construction in "pisé" ("*taipa*") is quite common in this region of Portugal where several projects of conservation have been launched.

b : The construction in "pisé" ("*taipa*") is a permanent feature of the history of architecture in Portugal. Here the palace of the ducal City of Villa Viçosa.

Pl. 11

a : France is gifted with a very important, rich and diverse earthen architectural heritage covering circa 15% of its full rural and urban heritage in almost all regions of the territory. Here, a typical village in Champagne, Outines, classified on the list of the National Heritage, where houses in "colombages" (posts and beams structures) filled up with wattle and daub ("*torchis*"), and a nice Christian church have been restored.

b : Still in Champagne, near the cities of Ay and Épernay, well known for their excellent vineyards, numerous villages and rural houses are built in unbaked earthen blocks locally called "carreaux de terre". This tradition is notably visible in villages located along the Marne River Valley but is not still living.

c : In the Region of Aquitaine, South-West of France, where exists a very nice tradition of vernacular adobe architecture. Here, the building culture, inherited from ancient Gallo-Roman times, prolonged under the Moore influences coming from the Iberian peninsula during the Middle Ages and then coming up to recent times, is associating the use of the adobe to the burnt brick which is commonly used for strengthening the reveals of the bays, the angle chains of the buildings and for the design of very nice elements of architectonic outlining.

Pl. 12

a : This photograph taken at the beginning of the XXth Century, circa 1914-20, is showing the common practice of the "*pisé*" construction (rammed earth) in the Province of Dauphiné, region of Isere, northern of Grenoble (South-East of France). At that time, a typical evolution was introduced in the practice of "*pisé*" with the use of the concrete, replacing the traditional corner-stone, the quoins in burnt brick-work or in lime mortar, or for consolidating the reveals of the bays.

b : A typical village house in "*pisé*", built at the beginning of the XXth Century, with reveals in concrete, located in the northern part of Dauphiné, region of Isere, South-East of France. Most of these houses are not plastered though the local climate is very rainy in Spring and Autumn. The main front façades of wealthier houses are sometimes decorated with layers of burnt bricks and river pebbles.

c : A rare and nice example of a Christian church built in "*pisé*", plastered with a thin lime distemper, in Isere, village of Charancieu located around 30 km north Grenoble. This church has been built at the middle of the XIXth Century. All walls, excepted those of the bell tower are in "*pisé*".

Figures

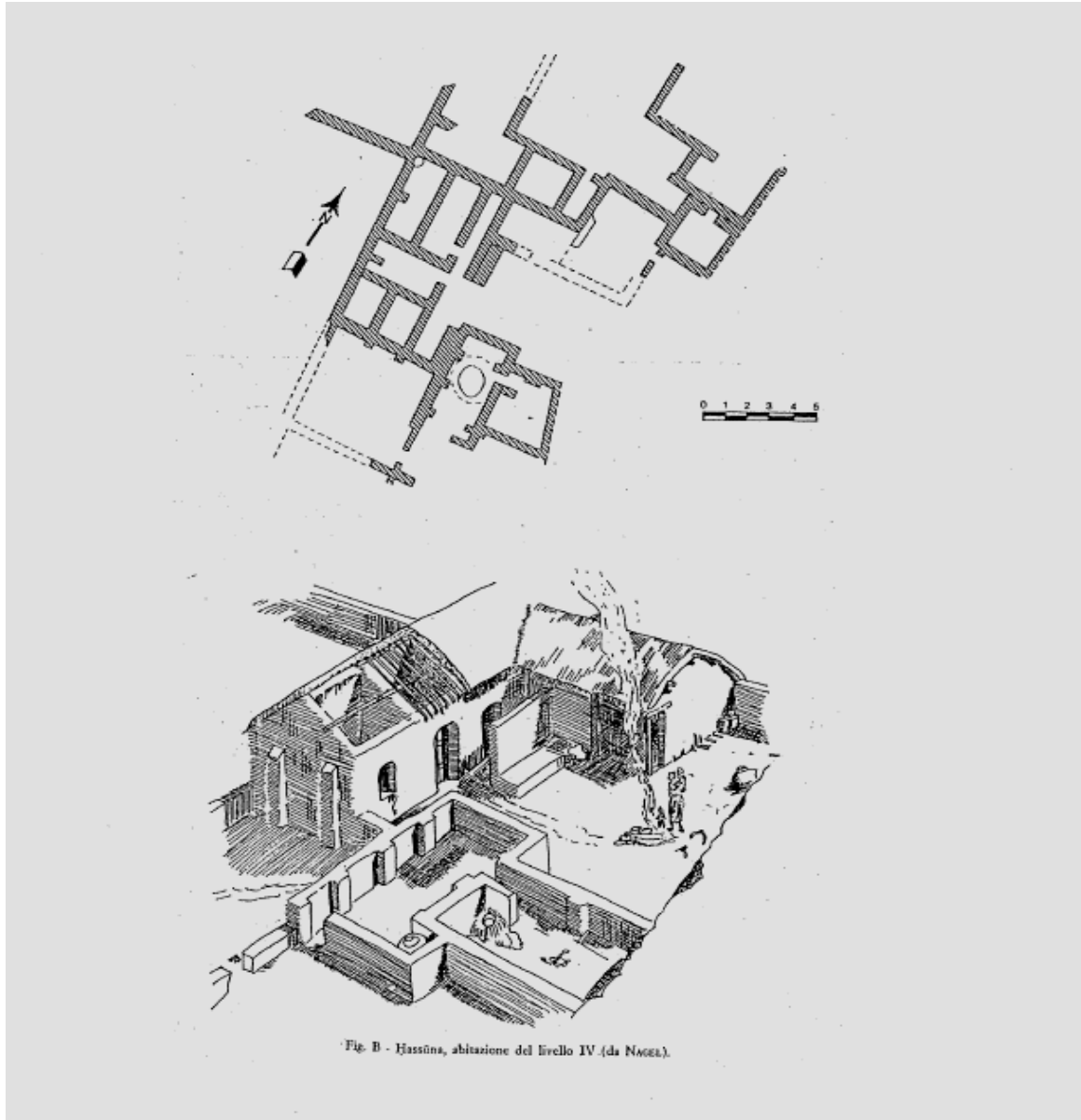


Fig.1: Adobe people's housing of the 6th Millenium B.C. at Hassuna, IVth Level. Drawing from Nagel, see Gullini, Giorgio, 1970-71, in *Struttura e Spazio nell'Architettura Mesopotamica Arcaica, da Eridu alle soglie del Protodinastico*, Università di Torino, ed. Giappichelli, Torino, Italia, p. 187. Comments: we can already observe the structural consolidation of the earthen construction with outdoor and indoor buttresses. The roof should have been still thatched on a basic carpentry covetring short spans with girders and rafters.

Figures

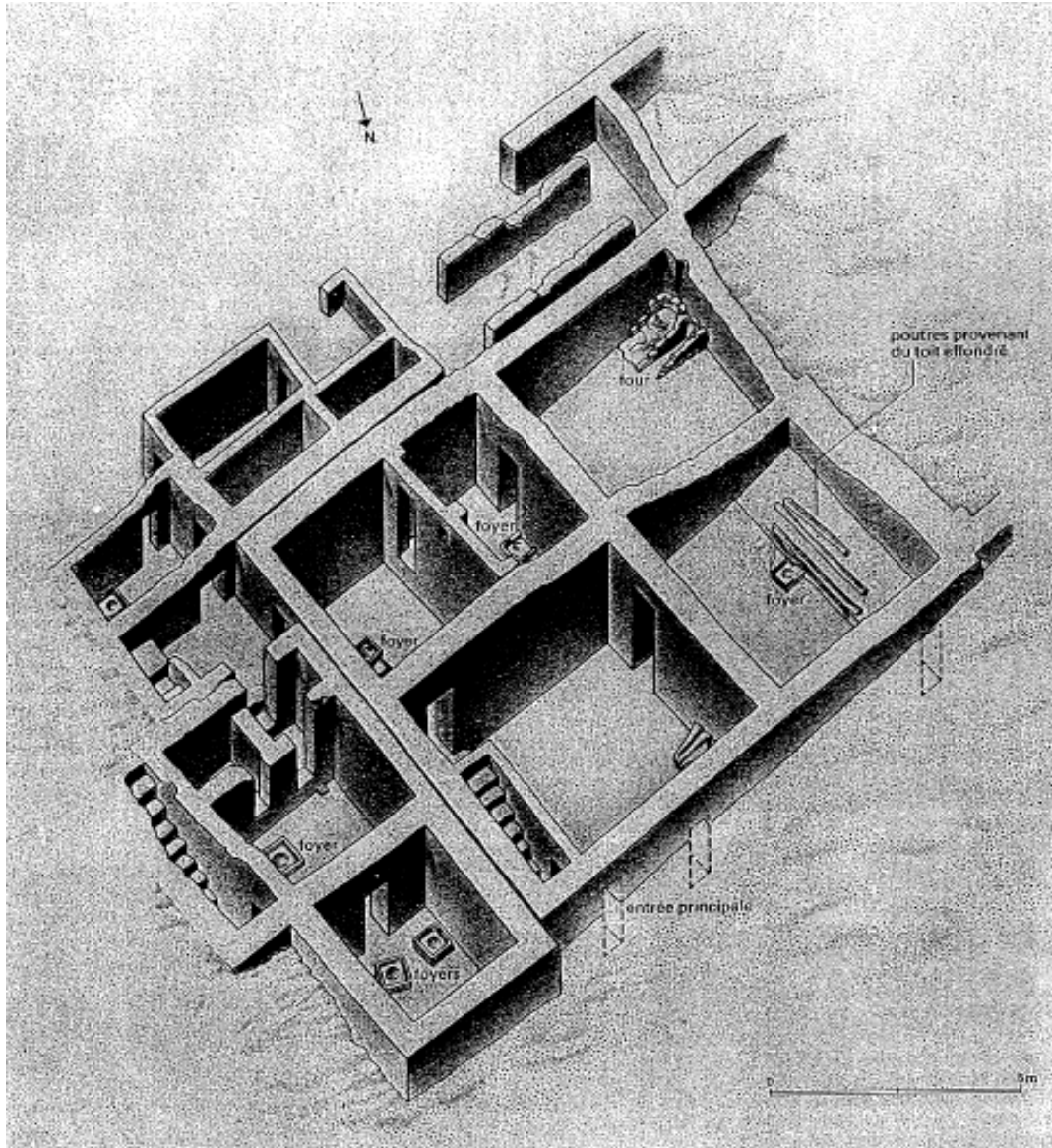


Fig. 2 : Adobe People's housing of the 3rd Millenium B.C. (around 2400) at Shahr-i Sokhta, Iranian Plateau. From Cleuziou, Serge, 1981, *Les villes du plateau iranien au III^e millénaire*, in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, ed. Universalis, Paris, 1981, p. 185. Comments : we can observe the clustering process of the people's housing of those ancient times clearly associating three housing units each of them heving their own fire places. The présence of staircases confirms the previous existence of one storey or one accessible flat terrace. Antrance doors should have given on narrow streets.

Figures

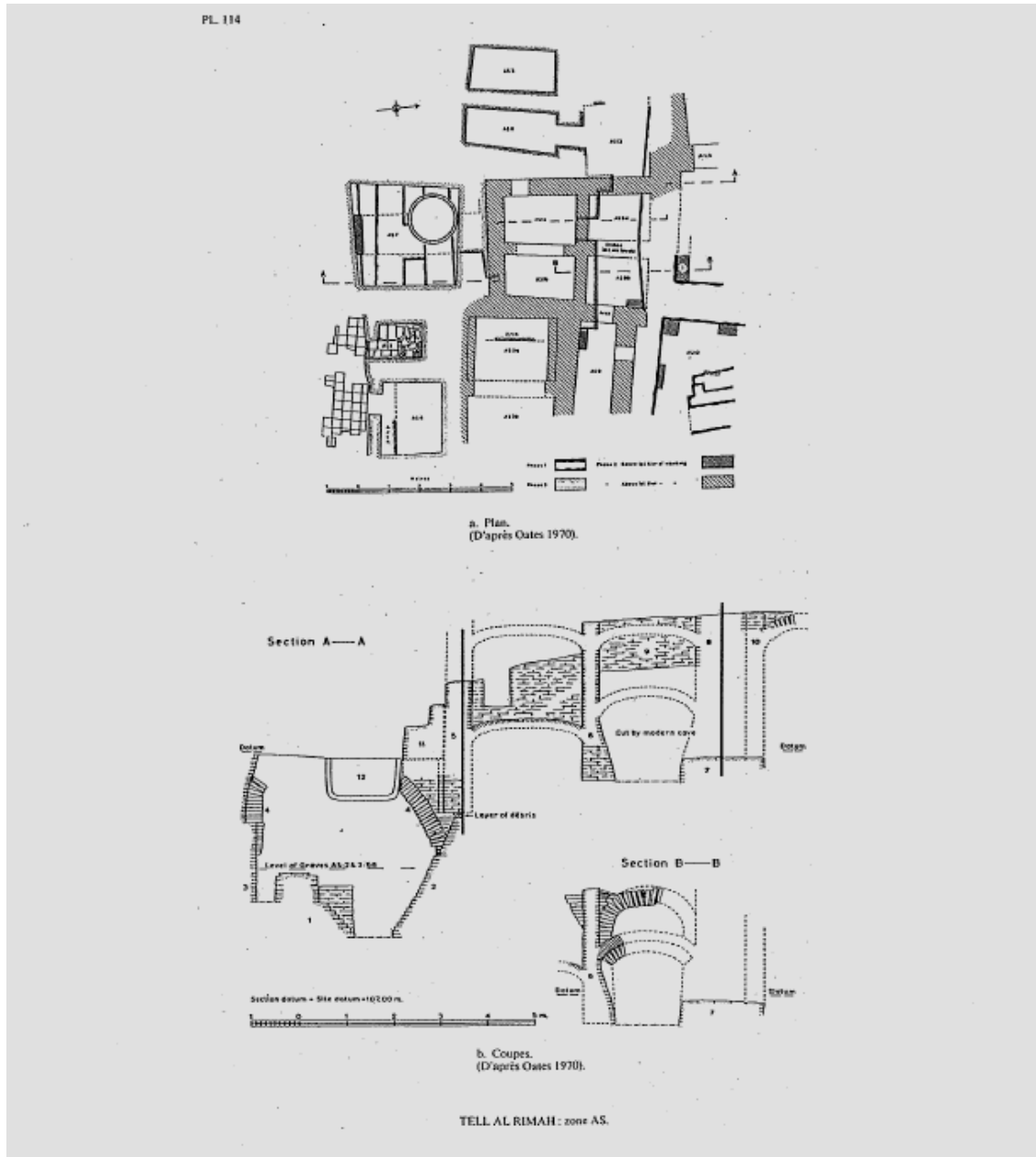


Fig. 3 : The excavations of the AS Zone, at Tell Al Rimah (Period of Isin-Larsa, IInd Millenium B.C.), North of Iraq, have revealed the existence of vaulting systems covering narrow spanned spaces (1 to 1,5 m.). From Oates, D., *The Excavations at Tell Al Rimah*, 1970, Iraq, vol. XXXII, pp. 1-26, in Besenval, Roland, 1984, *Technologie de la voûte dans l'Orient Ancien 2*, ed. Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984, Pl. 114. Comments : these vaults are flattened and should have been built without casing but directly on the ground or filling up materials after having erected the walls in adobe.

Figures

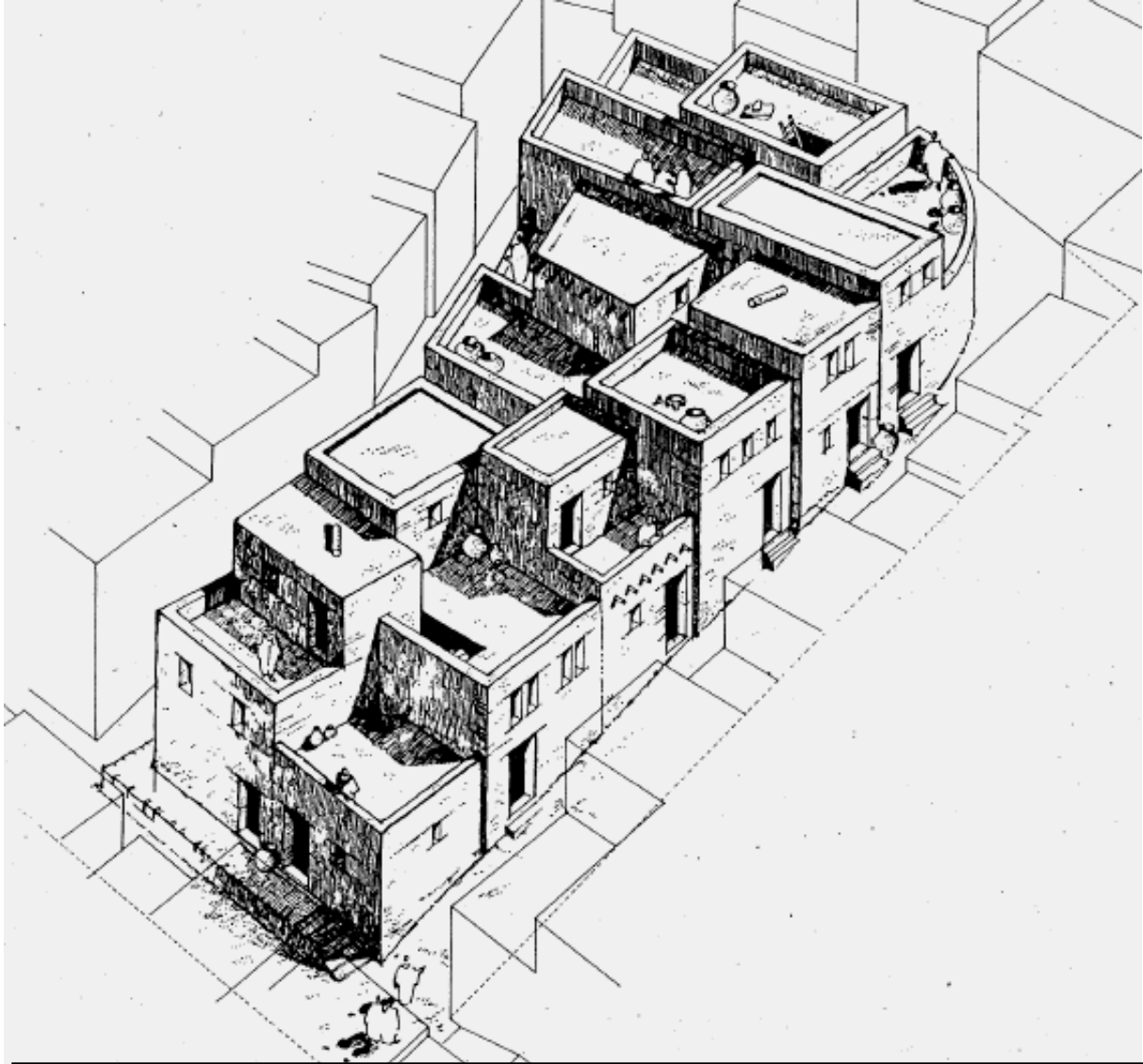


Fig. 4 : Adobe clustered people's housing of the XIIIth Century B.C. at Meskene-Emar, block D (North-West part of the tell), Syria. Drawing from Callot, Olivier, in Margueron, Jean, *Emar une ville sur l'Euphrate*, in magazine *Archaeologia* n° 176, mars 1983, pp. 20-36, p. 31. Comments : we can observe the densification of the habitat in an urban planning design where successive blocks of houses are encircled by narrow streets. They are two-storey houses with upper terraces accessible from a high bedroom. The construction is following the slope of the natural ground and the terraces are enlightened by the sun all the day when the streets are more shadowed. This architectural and urban design is totally actual in numerous traditional Syrian villages.

Figures

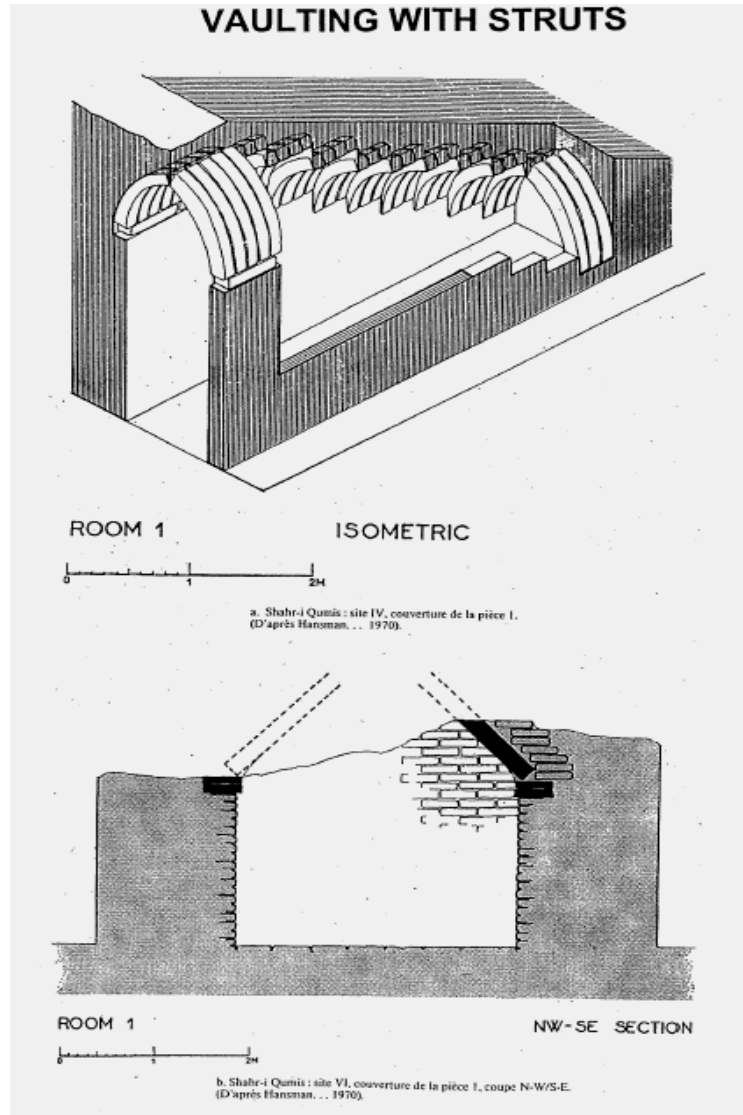


Fig. 5 : On the site of Shahr-i Qumis, Iran, Damghan, Parthian Period, 1st – 2nd Century A.D., sites IV and VI. During those times, the Iranian earthen builders have invented a new way for covering the housing spaces, including the staircases: the “strut”. From Hansman, J. And Stronach, D., 1970, *Excavation at Shahr-i Qumis*, 1967, pp. 29-62, in Besenval, Roland, 1984, *Technologie de la voûte dans l’Orient Ancien 2*, éd. Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984, Pl. 64. Comments: As we can observe on these isometric perspectives on room IV, and section on room VI, the technology of the strut has proposed different types of covering elements that have been adapted for vaulting or two-slopes roofing. On the same site of Shahr-i Qumis, Hansmann has also excavated larger rooms covered with three struts (site IV, room 3, site VII, room 5) as well as Stronach (1969) who has found such covering structures at Tepe Nush-i Jan with the vault on the room 2A. This roofing technology using light long elements made of earth and straw directly shaped and moulded on the building site have been used up to the Persian times as several corridors in the fortifications of Persepolis have shown. The abandon of this very clever building process is still a mystery.

Figures

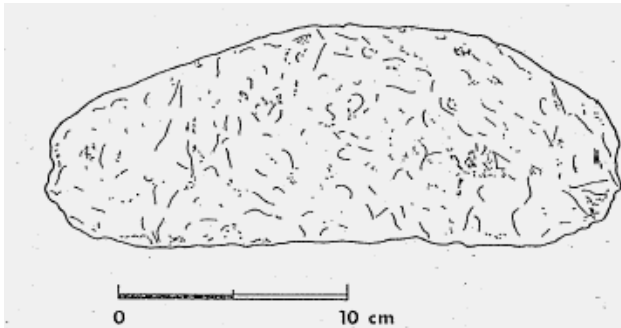


Fig. 1. – Brique modelée de Jéricho PPNA (d'après Kenyon et Holland, 1981, pl. 152a).

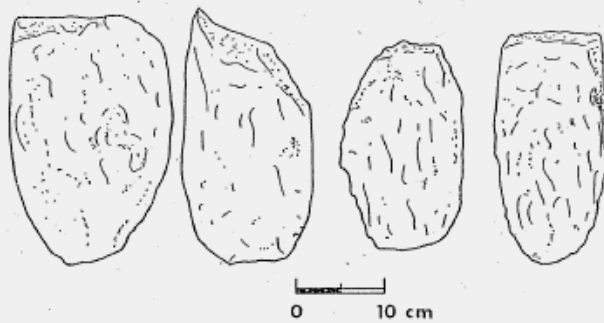


Fig. 2. – Briques modelées de Jéricho PPNA (d'après Kenyon et Holland, 1981, pl. 44a).

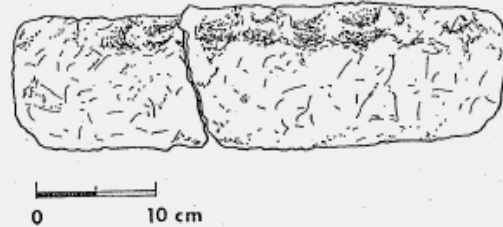


Fig. 7. – Brique modelée de Jéricho PPNB (d'après Kenyon et Holland, 1981, pl. 138b).

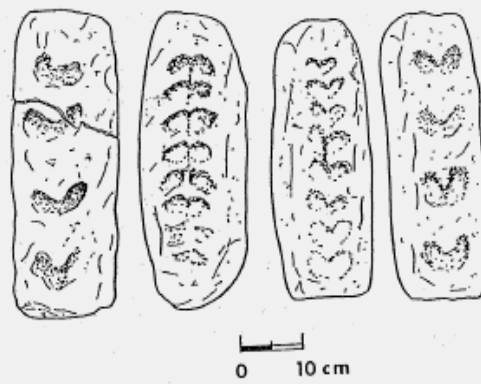


Fig. 8. – Briques modelées de Jéricho PPNB (d'après Kenyon et Holland, 1981, pl. 138c).

Fig. 6 : Moulded adobe bricks at Jericho PPNA. From Kenyon, K.M., and Holland, T.A., 1981, Pl. 152a (upper) and Pl. 44a (lower), in Aurenche, Olivier, *L'origine de la brique crue dans le Proche-Orient Ancien*, in *Between the rivers and over the mountains*, Rome 1993, p. 73. Comments: these unbaked earthen bricks are shaped as small breads and should not have been very regular. We can suppose that they have been used at a plastic state (not dry) and built without mortar, just packed on together for erecting successive layers.

Fig. 7 : Moulded adobe bricks at Jericho PPNA. From Kenyon, K.M., and Holland, T.A., 1981, Pl. 138b (upper) and Pl. 138c, in Aurenche, Olivier, *L'origine de la brique crue dans le Proche-Orient Ancien*, in *Between the rivers and over the mountains*, Rome 1993, p. 77. Comments: these unbaked earthen bricks are much more regularly shaped and we can observe systematic marks made by the brick maker's fingers. This might indicate that such bricks should have been possibly built at dry state with mortar, the marks facilitating the

Figures

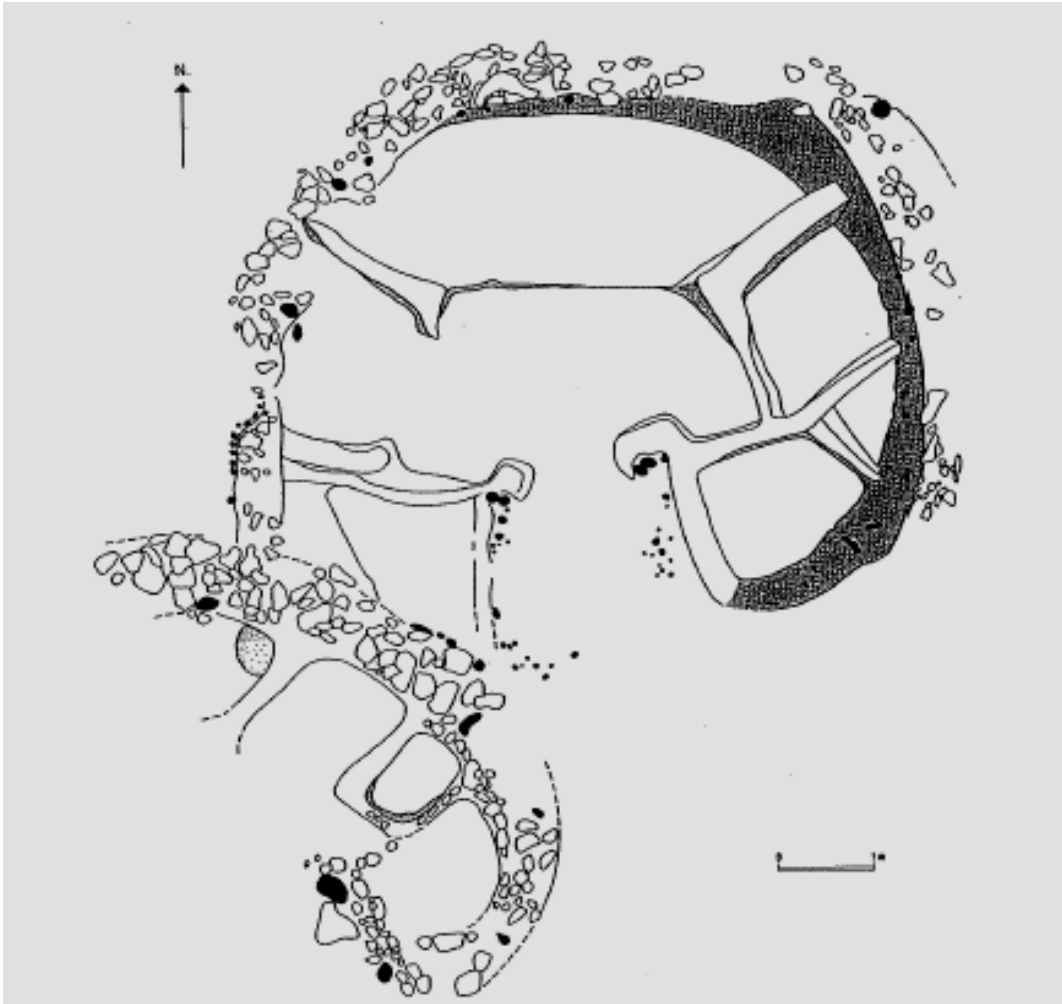


Fig. 8 : Round shaped house with indoor partitions at Mureybet, Syria, by the VIIth Millenium B.C. Drawing from Cauvin, J., in Huot, Jean-Louis, *Le Proche-Orient*, in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, éd. Universalis, 1981, p. 104. Comments: the structure of these people's houses is partly embedded in the slope of the ground, back side, and opened to the air at its front side with a small entrance door and space. The central room should have been the main living space with over small sleeping and storage rooms around. As we can see the structural design and position of the indoor partitions are playing a decisive part in the stability of the whole structure (probably made of jointed rafters) of a flat terraced roof. The central space seems to prefigure what will progressively evolve to the typical central patio or indoor yard of the further stage of oriental houses. Such model from Mureybet will stay very common during the protohistory of Near Orient as well as the famous site of Mari, still in Syria, has revealed the same similar design of the famous "red house" (see Margueron, Jean, 1984).

Figures

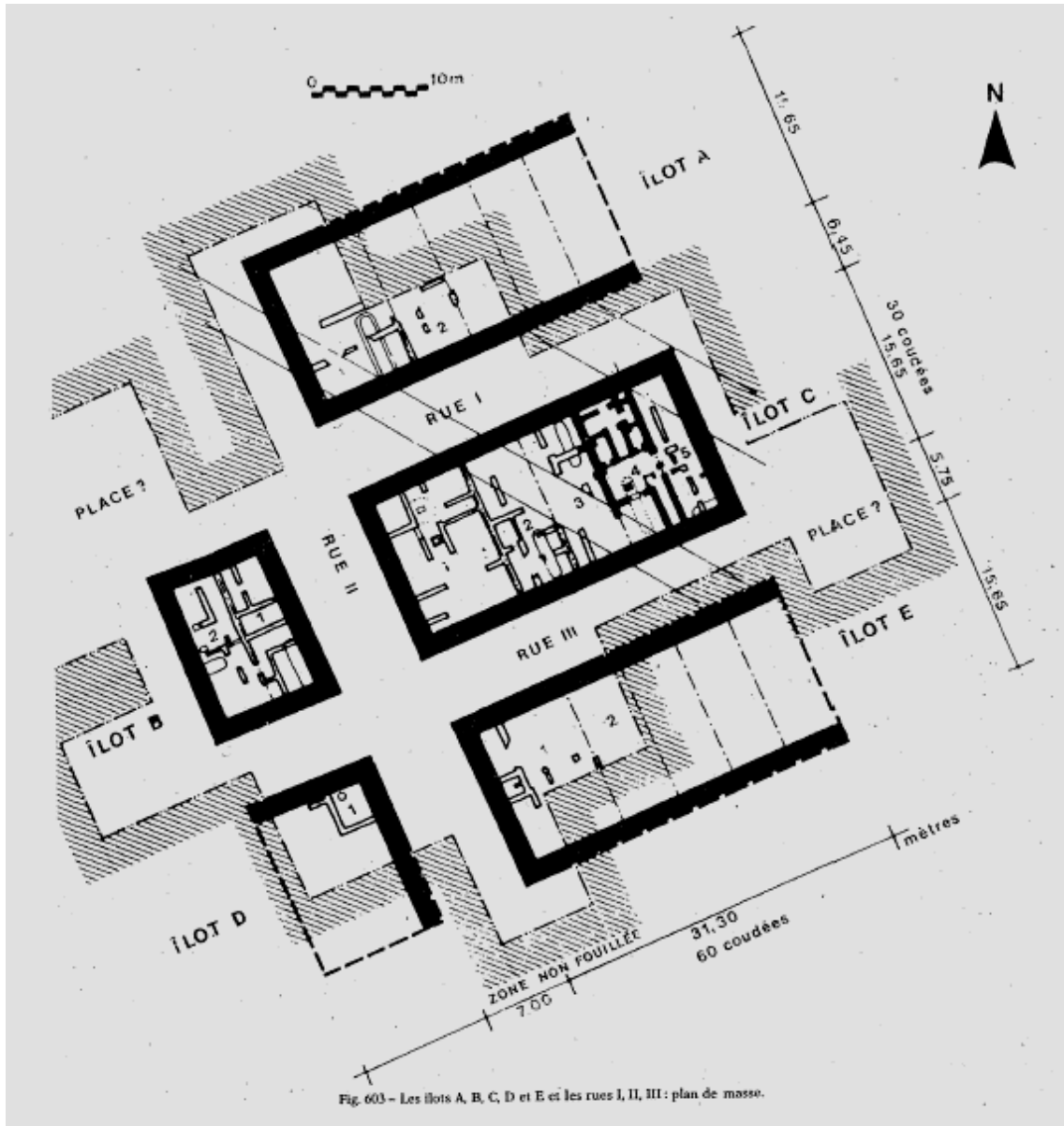


Fig. 9 : The famous Hannibal's neighbourhood which has been excavated on the hill of Byrsa testifying of the typical people's housing of Carthage during the 2nd Century B.C., some years before the last Punic War against the Roman. From Lancel, Serge, 1982, in *Byrsa II*, Fig. 603, p. 369. These famous blocks A, C and E, and particularly the block C located between Streets I and III, are showing the typical layout of the Punic houses or "flats" gathering five to six housing units in one urban block. Each unit is similarly designed with an entrance corridor giving to an indoor yard enlightening the back living rooms. Narrow staircases, probably built in wood, were giving access to a second storey. The building culture of those times, in Carthage, was very eclectic associating the stone, the burnt brick and the unbekd earth used in cob, adobe as well as "pisé" (pr rammed earth). The bearing structure was made of stone pillars filled up with thoses eclectic building materials in between.

Figures

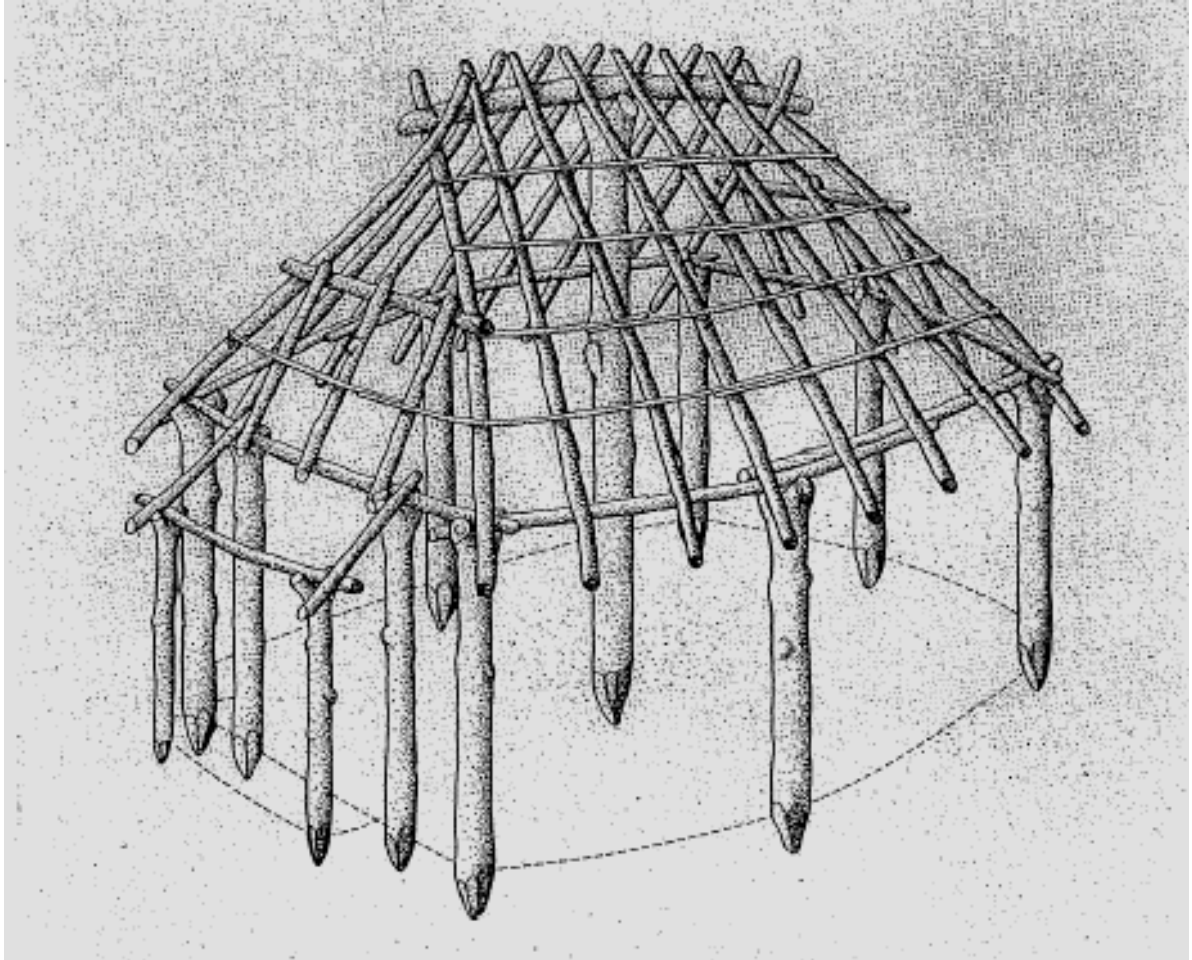


Fig. 10 : The primitive house of the earlier republican times of Rome, during the Villanovian Culture, VIIIth Century B.C. From Davico, A., in Holtzmann, Bernard, 1981, *Rome primitive et l'architecture étrusque*, in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, éd. Universalis, Paris, 1981, p. 156. Comments: during those times, the roman construction is very primitive and houses are wooden huts made of large posts bearing a thatched roof on heavy rafters. The shape of such huts is rather oval and rectangular but we can note the specific design of a sheltered entrance door. Such huts have disappeared during the VIIIth Century.

Plate 1



a: The Ziggurat of Chogha Zanbil, Khuzestan, Iran, Elamite site of the XIIth Century B.C. On this site, the unbaked earthen brick or "*Khesht*" in Persian, still has been the main building material for the construction of the core of the structures, not only for the Ziggurat itself but also for other main significant structures as the temples located in the *Temenos* area or the Hypogeum palace and other royal palaces and massive gates. But on the Ziggurat, the structural components have been protected with burnt bricks while all plastering devices for the outside protection have been made in "*kha-ge!*" or clayey mortar amended with chops of straw.



b: One of the most famous earthen architectural site of Iran, Arg-e Bam, located south-east of the country, after Kerman and not too far from the border of Afghanistan, while totally abandoned today and suffering of impressive decays, still testifies of the excellence of the Persian earthen building cultures. The origins of the fortress should trace back to the Sassanian times but the major part of the city as expanded during the Mongol invasions. Despite an appearance of important destruction, Arg-e Bam still testifies of the excellence of the Persian earthen construction, particularly for numerous examples of roofing systems in vaults and cupolas, and also for the technology of the "*pisé*". An important work of conservation and restoration is now carried out which has already contributed to the restoration of the fortress, caravanserais and Koranic schools.



c: Still impressive is the famous tradition of the pigeons towers built in adobe and burnt bricks on the plateau of Isfahan, Iran. Here, by a locality called Gavart (between Isfahan and the airport), and all around, most of the traditional villages are mainly built in "*khesht*" (unbaked brick), plastered in "*kha-ge!*" and exhibit the blooming of the Persian traditional know-how that have produced an earthen architecture in vaults and cupolas.

Near Orient

Plate 2



a: Typical feature of the traditional people's housing in earth valorising the technology of the "cob" (thick walls in stacked packs of mud) on the Plateau of Khuzestan. Here, the roofs are terraced and particularly adapted to a dry climate.



b: The climatic adaptation of the earthen architecture in Iran has produced the famous tradition of the wind towers or "badgales" which can be still observed in the desertic region of Yazd (Central Iran) and in numerous other regions suffering of a very hot climate in summer. Here, such bioclimatic devices are observed on the roofs of the "Frigeritha house", located in Kashan, one of the jewels of the Kajar architecture (end of the XIX^e Century and beginning of the XX^e Century).

Near Orient

Plate 3



a: The Sultanate of Oman testifies of a very nice earthen architecture built in unbaked earthen bricks which have been traditionally conical-shaped and recently evolving to the common rectangular shape. This traditional earthen architecture of the Sultanate covers numerous examples of Forts with massive outer defensive walls and towers, or "bors", and a nice tradition of outdoor and indoor plastering in "suroof" (natural lime) or "jusi" (gypsum) as well as earth and straw. Here the Fort of Bid Bid, on the road from Muscat to Nizwa. The Fort of Bid Bid has been restored during the 80's of the last XX^e Century by the Ministry of National Heritage of Culture which has recently conducted new restoration works valorising the aesthetic of the traditional renderings.



b: Still in the Sultanate of Oman, the Fort of Bahla, located at 25 km after Nizwa, with its "Qela'a" (the whole fortress) and "Qasabah" (the Fort itself), as well as the full dimension of the oasis including pure examples of the Omani people's housing, numerous mosques and a precinct wall of about 12 km long, with massive entrance gates, has been entered on the List of the World Heritage of UNESCO, in 1987. An important project of conservation, including interventions of restoration and revitalisation has been initiated in 1995 and still now running on where the traditional Omani earthen traditional building know-how is fully valorised. A Management Plan is actually defined.

Near Orient

Plate 4



a: An aspect of a recent intervention of restoration which has been recently conducted on the Fort of Bahla, Sultanate of Oman, under the site guidance of Arch. Enrico d'Errico within the project carried out by the Ministry of National Heritage and Culture and the expertise of UNESCO. Here we can observe the partial restoration and reconstruction of the "Borj ar-Rih", or "Wind tower", according to the architectural evidence given by a documentation coming from photographs taken at the end of the XIXth Century by a British explorer, Colonel Miles. All outer plasters have been made in traditional "surooj" and earth and straw.



b: Typical earthen people's housing in the South of Saudi Arabia, region of Najran. These constructions are made of successive "cob" layers (stacked packs of plastic earth). The desert climate of this region authorizes a basic protection of the more exposed parts of the structures, the top of the walls and the outer reveals of the bays that are generally plastered with natural white lime which are regularly maintained.



c: An other typical and nice tradition of earthen architecture in Saudi Arabia, here built in unbaked bricks. In this region the climate is not only dry but also humid with some hard and very devastating rains and flooding. To protect their houses, traditional builders have included in the façades of the houses layers of salient stones which are pushing out the rain water. On the other side, during the hot season, these stones are also maintaining a projected shadow which contributes to the cooling of the walls and the bioclimatic conditioning of the houses.

Near Orient

Plate 5



a: In Afghanistan, close to the border of Pakistan, an example of local typical fortified rural houses, or farms, build in "cob". This building culture, in numerous regions of Afghanistan, is much more present than the adobe construction and locally called "parsha".



b: In Turkmenistan, the famous medieval site of Ancient Merv which has been entered on the List of the World Heritage of UNESCO in 1998. The original architectural design of the outer walls of the "Great Kyz Kala", built in unbaked bricks during the XIth and the XIIth Centuries A.D. is today known as a "corrugated" structure the shape of which having been compared with other structures of a similar type existing in Iraq.

Near Orient

Plate 6



a: On the same site of Ancient Merv, visitors can observe an impressive structure built in unbaked earthen bricks; a ice house. This tradition of such big structures used for storing the snow, the ice and the cold water in big tanks deeply embedded in the ground is one of the permanent feature of the vernacular architecture of the Central Asian region.



b: On the slopes of the Tell of Bet She'an, Northern Israel. A particularly well preserved and wonderful example of a people's housing in unbaked earthen bricks tracing back to the Bronze Age (circa 3200 B.C.) which has been excavated by Professor, archaeologist, Amihai Mazar. We can clearly observe the typical structure of this house organised around a central circular space.



c: View of the eastern façade of XVIIIth Century B.C. (Middle Bronze Age) gate of the Canaanite city of Laish at Tel Dan, northern Israel. This famous triple arched gate in unbaked bricks of Tel Dan (built in three radial courses) the span of which is about 2.50 m, has been excavated by Professor, archaeologist, Avraham Biran. It is part of a defence system which consisted of sloping ramparts and glacis. Stone constructions have been found, built against and close to the mud structures whose successive layers are made with brown and grey coloured bricks.

Near Orient & Mediterranean Region

Plate 7



a: A traditional village in the region of Aleppo, Syria. Here, the earthen building culture testifies of a traditional roofing system in corbelled conical cupolas. Such structures are now very rare but this know how is tracing back to very old times as it has been confirmed by some graffiti's which have been found in Niniveh (Assyrian times) evocating the rural people's of this period.



b: On the hill of Byrsa, Tunis, North Africa, the remains of the famous Hannibal's neighbourhood of the 2nd Century B.C. which has been excavated by the French mission under the Direction of Serge Lancel. The housing blocks A, C and E which have been surveyed by G. Robine, exhibit the typical Punic building culture, very eclectic in the use of the materials including stone, burnt and unbaked earthen bricks as well as "pise". On the outer walls of these houses (in fact urban flats) which were sheltering metallurgist's families and their workshops, lime plasters can be still observed.



c: Detailed view of the columns in "pise" erected by the Roman, when, some years after the destruction of Carthage, they have refilled the slopes of the hill of Byrsa for levelling a new platform which will bear the new Forum and Basilica of the Roman Carthage (1st Century A.D.). This structural performance consisting in building earthen columns for realising new footings is in fact common in the Roman engineering practices. Other similar traditions are existing in the history as this can be observed at Susa, Khuzistan, on the Darius' Palace.

Mediterranean Region

Plate 8



a: North of Spain, Province of Palencia, in Pedrosa de la Vega. The Roman Villa of La Olmedia, one of the greatest residence (33 rooms) dated from the IVth Century A.D. (late Roman Period) which have been found in Spain. The remains are exhibiting basements of walls made of unbaked earthen bricks and of stacked earth ("cob"). This view is also showing the remains of the heating system or hypocaust.



b: Typical house in unbaked earthen bricks, "ladriri" or "mattoni", in southern Sardinia, region of the "Campidanu", village of Riola Sardo. In this region, numerous villages are built in earth and a programme for their conservation, restoration, rehabilitation and maintenance, associated to a revival of the earthen building technology has been recently launched under the guidance of the University of Cagliari in close collaboration with the municipalities. This tradition of the unbaked earthen brick traces back to Greek, then Punic (site of Tharros) and Roman times.



c: Eastern Mediterranean seaside of Spain, inland region of Catalonia, around Barcelona. Numerous villages are built in rammed earth or "tapial" which is no more a living building culture.

Mediterranean Region

Plate 9



a: North of Spain, Province of Palencia, in a land called "Tierra de Campos". The village of Medina de Rio Seco is part of a very nice vernacular earthen architectural heritage gathering numerous other villages where Christian churches are also built in "pisé".



b: The presence of numerous pigeon towers, or "palomares" is one of the typical feature of the traditional rural landscape of the region of "Tierra de Campos", Northern Spain. This tradition of round-shaped pigeon towers in "pisé" ("tapial") is one of the most achieved in Europe where some other nice examples can be still observed in France, in the Saone River Valley (North of Lyon) or in the region of Aquitaine (South-West of France), where these "pigeonniers" are built in adobe.

Mediterranean Region

Plate 10



a: The remains of the Castle of Silves, Province of Algarve, South of Portugal. The tradition of fortified castles tracing back to the period of "Al-Andalus" (Moore times) testifying of the construction in "pise" ("taipa") is quite common in this region of Portugal where several projects of conservation have been launched.



b: The construction in "pise" ("taipa") is a permanent feature of the history of architecture in Portugal. Here the palace of the ducal City of Villa Viçosa.

Mediterranean Region

Plate 11



a: France is gifted with a very important, rich and diverse earthen architectural heritage covering circa 15% of its full rural and urban heritage in almost all regions of the territory. Here, a typical village in Champagne, Outines, classified on the list of the National Heritage, where houses in "colombages" (posts and beams structures) filled up with wattle and daub ("torchis"), and a nice Christian church have been restored.



b: Still in Champagne, near the cities of Ay and Epernay, well known for their excellent vineyards, numerous villages and rural houses are built in unbaked earthen blocks locally called "carreaux de terre". This tradition is notably visible in villages located along the Marne River Valley but is not still living.



c: In the Region of Aquitaine, South-West of France, where exists a very nice tradition of vernacular adobe architecture. Here, the building culture, inherited from ancient Gallo-Roman times, prolonged under the Moore influences coming from the Iberian peninsula during the Middle Ages and then coming up to recent times, is associating the use of the adobe to the burnt brick which is commonly used for strengthening the reveals of the bays, the angle chains of the buildings and for the design of very nice elements of architectonic outlining.

Mediterranean Region

Plate 12



a: This photograph taken at the beginning of the XX^e Century, circa 1914-20, is showing the common practice of the "pisé" construction (rammed earth) in the Province of Dauphiné, region of Isere, northern of Grenoble (South-East of France). At that time, a typical evolution was introduced in the practice of "pisé" with the use of the concrete, replacing the traditional corner-stone, the quoins in burnt brick-work or in lime mortar, or for consolidating the reveals of the bays.



b: A typical village house in "pisé", built at the beginning of the XX^e Century, with reveals in concrete, located in the northern part of Dauphiné, region of Isere, South-East of France. Most of these houses are not plastered though the local climate is very rainy in Spring and Autumn. The main front façades of wealthier houses are sometimes decorated with layers of burnt bricks and river pebbles.



c: A rare and nice example of a Christian church built in "pisé", plastered with a thin lime distemper, in Isere, village of Charancieu located around 30 km north Grenoble. This church has been built at the middle of the XIX^e Century. All walls, excepted those of the bell tower are in "pisé".

Mediterranean Region

DES ARCHITECTURES DE TERRE EN EUROPE **Patrimoine, histoire, modernité et actualité**

(article écrit en 2004 pour un projet de livre intitulé « Habiter la Terre », éd. Mercator, Belgique, publié en 2007)

Un patrimoine exceptionnel ignoré par le grand public

L'imaginaire collectif associe l'architecture de terre à des formes de construction primitives, précaires et désuètes. On ne retient principalement que les architectures de terre d'Afrique et plus largement des régions du sud. Les érudits connaissent le legs archéologique et le rôle qu'on pu jouer les grands archéologues européens dans la découverte de grands sites antiques en terre du monde à partir de la seconde moitié du 19^{ème} siècle. Mais l'importance et la richesse des architectures de terre dans les régions du Nord - et celles d'Europe - sont ignorées du plus grand nombre.

Evocation des typologies

En Europe, les architectures vernaculaires, rurales et urbaines, déclinent les principales cultures constructives en terre : le torchis, la bauge, l'adobe, le pisé. Elles exposent le plus large registre de typologies architecturales : des fermes paysannes et leurs annexes aux plans traditionnels variés (fermes en longueur, en hauteur, fermes à cours fermées et ouvertes), des pigeonniers (tradition méditerranéenne dans le sud de la France et dans le nord de l'Espagne), des villages entiers en pisé et adobe (Castille et Léon, Espagne), des centres urbains historiques en colombages et torchis, en France (Rouen, Le Mans, Tours, Troyes), ou en pisé (Montbrison, Lyon), des manoirs bourgeois et châteaux en colombages (Normandie) et en pisé (Auvergne, Bresse, en France), des habitats ruraux en bauge (cob du Devon, Angleterre), églises, mairies et écoles en pisé, usines et manufactures du 19^{ème} s. (Dauphiné, en France), mais aussi de remarquables fortifications en pisé des époques maures et arabes en Espagne (Caceres en Estremadura, Alcázar de Séville en Andalousie), et au Portugal (Fortifications de Alcaçer do Sal, de Silves et de Paderne). En annexe de ce chapitre, sont exposés les plus beaux visages de ces patrimoines des architectures de terre européennes.

Repères historiques

L'histoire ancienne de l'Europe, explique un double visage des architectures de terre. D'une part, les influences venues du Moyen-Orient et du Levant méditerranéen, par l'Anatolie, les Balkans et l'Europe méditerranéenne (Italie, sud de la France, péninsule ibérique), qui affirmaient les cultures constructives de l'adobe et du pisé ; d'autre part, les influences des peuples migrant depuis l'Asie et l'Europe centrale vers l'Europe septentrionale et nord occidentale, avec les cultures constructives dominantes du bois et torchis, du gazon et de la bauge. Ainsi, l'Europe offre une très plus large déclinaison des époques historiques et des formes typologiques. Ce sont des sites antiques qui traduisent les établissements des premiers agriculteurs du monde avec les villages danubiens en bois et torchis des 5^{ème} et 4^{ème} millénaires av. n.è., en Roumanie (Habatesti) et en Tchécoslovaquie (Postolprty), ou en Allemagne (Köln Lidenthal). Ce sont les grandes villas romaines de France (Montmaurin dans le sud ouest, villas picardes) et d'Espagne (Villa La Olmeda à Pedroso de la Vega, Palencia, 4^{ème} s.), les sites gallo-romains urbains du sud de la France (Nîmes, Lattes) des 1^{er} et 2^{ème} siècles, les vestiges du grand mur d'Hadrien en Angleterre (122 ap. J.C., la plus grande muraille en terre d'Europe, de 118 km, érigée entre deux mers), les grands sites de référence du Moyen Age que l'on trouve en Allemagne (Warendorf et Gladbach) des 7^{ème} et 8^{ème} siècles, de rares sites exposant la construction en « gazon » d'Angleterre (Hound Tor, 10^{ème} – 13^{ème} s.) et du Danemark (Solvig, 14^{ème} s.).

Une valorisation historique de la terre en continu depuis l'Antiquité.

Le corpus des textes anciens montre combien les auteurs gréco-romains se sont attachés à valoriser les qualités de la construction en terre, notamment pour les établissements ruraux. Dès avant notre ère, Hérodote, le « père de l'histoire » (5^{ème} s.), témoigne d'exemples glanés lors de ses voyages en Afrique, Asie et Europe. Dicaërque (4^{ème} et 3^{ème} s.) décrit l'Athènes populaire construite en briques crues et toitures en chaume. Caton (3^{ème} et 2^{ème} s.), fondateur du concept de la villa rustique, relève l'intérêt de construire les fermes et leurs clos en briques de terre. Varron (fin 2^{ème} s. et 1^{er} s.) vantera aussi les mérites de la terre pour la construction rurale, tout comme Vitruve et Columelle (1^{er} s.), jusqu'à Palladius (5^{ème} s.) n'auront que des éloges et reconnaîtront les vertus constructives et économique de la terre. Cette tradition de promotion de la terre ne s'est pas démentie au cours de l'histoire. On la retrouve affirmée en Italie au 15^{ème} s. avec Alberti, premier grand théoricien de l'architecture de la Renaissance. Puis avec les premiers grands traités modernes de construction italiens, celui de Antonio Rusconi au 16^{ème} s., et de Vincenzo Scamozzi en 1615 (Font Arrellano 2003). En France, Charles Estienne et Jean Liébaut (16^{ème} s.) reprennent le concept de la maison rustique de Caton, fondant à leur tour les grands principes de conception des domaines ruraux modernes des pays européens qui seront largement diffusés au 18^{ème} s.

Les héros de la terre du Siècle des Lumières et du 19^{ème} siècle

En France, Delorme est le premier auteur qui décrit et argumente la technique du pisé devant l'Académie de Lyon en 1745. Suivra Goiffon avec son art du maçon piseur (1772), puis l'Abbé Rozier (1796) avec François Boulard et enfin François Cointeraux avec ses 69 essais et pamphlets publiés entre 1790 et 1826. Son fameux 4^{ème} Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale sera traduit en plusieurs langues. En anglais par Henry Holland qui favorisera sa diffusion vers l'Amérique et l'Australie ; en allemand par David Gilly, fondateur de l'Académie de Construction de Berlin (influences dans le Schleswig-Holstein et sur un industriel allemand, Jacob Wimpf, qui construisit le plus haut immeuble en pisé d'Allemagne à Weilburg) ; en italien par Giuseppe del Rosso (influences en Toscane) ; en danois par Seidelin (influences dans les pays scandinaves). Raymond et Zschokke agiront en Suisse. Seule l'Espagne, héritière d'une longue tradition historique épanouie aux époques arabes, avec plusieurs traités d'époque, ceux d'Ibn Abdun, (12^{ème} s.), et d'Ibn Jaldun (14^{ème} s.), échappera à cette influence de Cointeraux bien que l'on relève l'existence d'un traité valorisant le pisé, de Juan de Villanueva (1827). Jean-Baptiste Rondelet, élève de Soufflot, parachèvera ce lignage de promotion historique avec son Traité de l'Art de Bâtir (1802-1817) qui rend hommage à Cointeraux, ainsi que Louis Bouchard Huzard avec son Traité des constructions rurales (1870). Plus récemment encore, l'éloge de Cointeraux a été fait par Georges Teyssot, architecte des Monuments historiques (1981) et par Hubert Guillaud (1997).

C'est sur ces fondements d'une grande trajectoire historique de valorisation de la construction en terre, sans cesse revisitée au cours des siècles, notamment ressaisie par les académies et sociétés savantes du 18^{ème} s., par les physiocrates et les agrariens, par des aristocrates éclairés comme le Comte de Dorchester réalisant le village de Milton Abbas en Angleterre, en 1773, ou le Marquis César de Cadenet, construisant Charleval en France, en 1741 (Theus 1956), que s'établiront les grands caractères des architectures de terre européennes dont les typologies actuelles se sont pleinement affirmées et épanouies, au cours 19^{ème} s. L'ère industrielle contribuera aussi à l'édification de cités ouvrières et de nombreuses manufactures locales dont de très beaux exemples existent encore dans le Dauphiné, en France avec la cité de Saint Siméon de Bressieux et les ateliers de tissage de nombreux villages et bourgs du nord de l'Isère, autour de la ville de Bourgoin Jallieu, à l'est de Lyon.

Un fantastique travail d'étude et d'inventaire des architectures rurales ou la terre tient sa place

Le courant de la Géographie Humaine qui s'attache à étudier les caractères du territoire rural et de ses types de peuplement vont inclure de nombreuses études sur l'habitat. Celles-ci posent les fondements d'un grand inventaire allant constituer un corpus européen des architectures rurales. En France, Albert Demangeon (1920), Pierre Vidal de la Blache (1922, 1948), Max Sorre (1943), Jean Brunhes (1956), Pierre Deffontaines (1972) et Georges Duby (1979-1980) sont ces pionniers. Le relais est pris avec le Corpus d'architecture rurale française entrepris pendant la guerre, entre 1942 et 1945, sous la direction de Duchartre et Rivière, qui aboutit à la publication de 20 volumes. L'architecture de terre y est représentée. Simultanément des études d'architectes, telle celle de Doyon et Hubrecht (1942 et 1979), traitent de l'architecture rurale et bourgeoise où les traditions du torchis, de l'adobe et du pisé seront bien valorisées. D'autres auteurs présenteront les cultures régionales avec des éditeurs ayant pignon sur rue (Fréal, Serg, Berger-Levrault, Créer) dans les années 1970 et 80. En Allemagne de l'ouest, les recherches de Guntzel (1988) publiées dans la revue *Bauen Mit Lehm* de Gernot Minke (1984-1987) dressent un pré-inventaire des traditions régionales. Les études de William-Ellis (1919, 1947), puis de Brunskill (1971), Fenton (1970), McCann (1983-1995), Pearson (1992), Bouwens (1990, 1993), Walker et McGregor (1996), valorisent les cultures des îles britanniques. En Italie, le géographe Osvaldo Baldacci (1958) repèrera l'existence d'une véritable civilisation du cru. Ces travaux ne seront relayés qu'à partir de la fin des années 1980 par des initiatives sardes couvrant la tradition de la brique crue des campidani (Sanna, 1988, 1993) que Bertagnin (1987, 1999) étendra à l'ensemble de l'Italie. En Espagne, le travail spécifique de Ponga (1994), des monographies typologiques (pigeonniers du León, 1993 ; *casa de corral* 2001), valorisent l'adobe et le *tapial* ibérique. Des recherches historiques et archéologiques s'attachent à étudier les édifices fortifiés des époques arabes (Graciani et Tabales 2003). Au Portugal, l'association des architectes publie un corpus des architectures populaires (1980) où les traditions de l'adobe et du pisé sont clairement repérées. L'université de Lisbonne publie en 1996 un ouvrage entièrement dévolu à l'architecture de terre dans sa dimension méditerranéenne. D'autres jeunes chercheurs approfondissent les cultures régionales (Correia 2000) alors qu'un programme de développement régional propose une monographie de la maison en pisé d'Alentejo (2000). Dans les autres pays d'Europe, le même travail est réalisé par des chercheurs. (Mencl 1980, Syrova et Syrovi 1991, 1994) qui couvrent les traditions de Tchécoslovaquie, alors que d'autres chercheurs entament des recherches plus spécifiques en Roumanie (Moldovan et Graur, 1993) et en Albanie (Frasheri, 1990, 1993).

L'extinction progressive des traditions de construction en terre

Avec la synthèse du ciment hydraulique (Henri Vicat, Grenoble, France, vers 1800), de profondes mutations vont bouleverser le secteur de la construction européenne qui seront sensibles à partir de la 2^{ème} moitié du 19^{ème} s. Ce sera l'apparition des premiers bétons, d'apport compactés dans les coffrages, à la façon pisé, avec le *pisé-béton* des frères Coignet remplaçant la terre par un mélange de cendres de houille, scories et chaux (mâchefer), les premiers béton de ciment et agrégats qui évolueront de l'état humide compacté à l'état liquide coulé, les pierres factices moulées. Le début du 20^{ème} siècle verra la tradition du pisé associée au béton utilisé pour les fondations, soubassements et tableaux des baies, notamment observable dans la région de Lyon en France. Cette pression du béton, avec le développement des grands travaux d'infrastructure du rail et de la route au cours de la seconde moitié du 19^{ème} s. envahira les territoires de plus en plus désenclavés qui peuvent être approvisionnés. Ainsi s'annonce la disparition progressive des traditions de construction en terre dans les pays européens.

Les jalons d'une nouvelle modernité à la fin du 19^{ème} et au cours de la 1^{ère} moitié du 20^{ème} siècle

Quelques architectes européens renommés se sont pris de passion pour l'architecture de terre et ont réalisé des projets, soit en Europe, soit à l'étranger. Relevons l'extension en *tapia real* (pisé et chaux) de la *finca* (domaine rural) de don Eusebio Güell, au lieu dit Les Corts de Sarrià, près de Barcelone, par le grand architecte catalan Antonio Gaudi, entre 1884 et 1887. Evoquons aussi l'autrichien Rudolf Schindler qui émigra aux Etats-Unis au début du 20^{ème} s. et construisit plusieurs villas en adobe, au Nouveau Mexique (Gebhard 1965). En Allemagne, dans les années 1920, un missionnaire allemand de retour de Tanzanie, Gustav von Bodelschwingh, s'installe en Westphalie et développe le procédé de construction dénommé *Dünner Lehmbröte Bauweise* (construction en pains de terre). Il sera appliqué sur des centaines de maisons bâties dans la région de Lubeck de 1923 à 1933. Entre 1919 et 1921, en Prusse et en Saxe, le *Wohlfahrtsministerium* encourage activement la construction en terre. Près de 20 000 logements en terre seront réalisés alors que des centres de formation, à Posen, Sachsen, formeront des architectes et ingénieurs, des artisans à la construction en terre jusqu'en 1950 en réalisant des opérations pilotes (Bardagot 1991 ; Fauth 1948 ; Pollack et Richter 1952). Pendant la guerre, avec un secteur du bâtiment pénalisé par l'effort d'armement, le gouvernement du 3^{ème} Reich relance la construction en terre dans les zones rurales et encourage la *Reichsbahn*, compagnie des chemins de fer allemande, à développer plusieurs programmes exemplaires de logements pour ses employés, de bâtiments de gare et autres baraquements. Des normes DIN allemandes sur la construction en terre sont publiées entre 1947 et 1956. En Angleterre, dès les années 1920, le *Ministry of Agriculture and Fisheries* lance des programmes d'habitat en terre, en application du *Land Settlement Act* qui autorise les anciens combattants de la 1^{ère} guerre mondiale à établir des coopératives agricoles. Après la 2^{ème} guerre mondiale, le *Building Research Station*, installé à Garston et Watford, développe des recherches sur la terre stabilisée et son emploi en construction. En France, pendant la 2^{ème} guerre mondiale, face à une pénurie en matériaux de construction industrialisés, Le Corbusier propose en 1941 des projets d'édifices publics et d'habitat rationalisant la brique de terre et le pisé. Ce sont ses maisons *Murondins* qui devaient être construites à la Sainte Beaume (Sud de la France) et qui n'ont finalement pas vu le jour à cause de la disparition de son client (Le Corbusier 1941 et 1946). En 1943, le français Michel Luycks, élève de Perret, construit à Adrar, Sahara algérien, un hôpital en briques de terre qui est le premier ouvrage public d'importance réalisé dans le cadre d'un projet de coopération bilatérale. Au sortir de la guerre, le Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme (M.R.U.) de la France, pour faire face à la reconstruction des régions rurales, relance à Ivry (région parisienne) des expérimentations sur des murs en béton de terre stabilisée. Elles précèdent la réalisation, en 1945-46, des fermes du Bosquel, en Picardie, les fermes Quesnel et Dupont, conçues par l'architecte Paul Dufournet (Auzelle et Doufournet 1943, Auzelle 1946 ; C.S.T.B. 1950), et d'autres constructions provisoires dans les villages de Vacqueriette et du Haut-Mesnil, ainsi que la reconstruction de la cité des cheminots de Tergnier (Bardagot 1991). L'opération est démonstrative au plan technique et économique et donnera lieu à l'édition des premiers documents techniques de construction (D.T.C.) publiés par la France, aujourd'hui retirés. Mais l'industrie du bâtiment se reconstitue pour faire face à l'ampleur des grands travaux de reconstruction. Bien qu'ayant refait ses preuves, le pisé n'y résistera pas. Le coup de grâce sera donné à partir de la fin des années 1950 qui précèdent les « 30 glorieuses » (1960, 70, 80) marquant l'avènement de la ville contemporaine et des grands ensembles, l'extension de la construction pavillonnaire dans les périphéries urbaines et les campagnes donnant toute la place aux matériaux industriels. Le pot de terre ne résiste plus au pot de fer.

Les facteurs de renaissance d'une architecture de terre européenne contemporaine à partir des années 70

Dans la plupart des pays d'Europe, les études et les inventaires des architectures rurales qui étaient engagées depuis les années 1930 et amplifiées dans les années 1950-60, ont été relayées par un large mouvement d'édition dans les années 1970. Celui-ci contribuait à un intérêt public de plus en plus large pour les architectures vernaculaires, leurs matériaux et cultures constructives. Mais, au-delà de ce facteur, on doit en relever d'autres qui vont activer un mouvement de renaissance des architectures de terre en Europe.

Les années qui suivent la 2^{ème} guerre mondiale contribuent à l'émergence d'une prise de conscience collective de l'existence d'un « Tiers-Monde » et d'un écart dramatique de croissance entre le Nord et le Sud. C'est rapidement toute une génération de jeunes architectes qui vont s'engager dans une démarche active de coopération avec le Sud. Celle-ci prendra toute son ampleur à partir des années 1960 avec le mouvement d'indépendance des nations colonisées par les pays d'Europe et sera amplifiée dans les années 1970. Dès 1954, Jacques Dreyfus publie son Manuel de construction en terre en Afrique Occidentale Française et engage des expérimentations à Dakar, Sénégal. Dans les années 1960, Plusieurs chercheurs européens engagent des études sur les patrimoines vernaculaires africains. Des français au Cameroun (Leboeuf 1961), et au Maroc (Jacques-Meunié 1949, 1951, 1962). Des anglais et hollandais, au Maroc (Landau 1969, Groupe Kasbah 64 1973). D'autres études développées dans les années 1970 et 80 par des anglais (Oliver 1971 ; Denyer 1978) ou des italiens (Fassassi 1978 ; Ago 1982), puis des français (Seignobos 1982 ; Acquier 1986), des allemands (Adam et al. 1983 ; Lauber, 1998) et tant d'autres ! A la convergence de facteurs politiques, culturels, scientifiques, et économiques, avec le soutien du Centre d'Etudes et de Recherches Françaises (CERF) à Rabat, le Maroc a été véritablement un pays phare du développement d'une architecture d'habitat social en terre, dès les années 1960. Ce fut l'opération de Daoudiat, à Marrakech, conduite par l'ingénieur français Alain Masson, qui aboutit à la réalisation de 2700 logements économiques en briques de terre stabilisée. Associé à Jean Hensens, architecte et urbaniste belge, Masson expérimentait de nouvelles formes de techniques de pisé intégral pour l'habitat, à Ouarzazate, en 1969. Le CERF a dès lors amplifié une activité éditoriale intense sur la construction en terre au sein du Ministère de l'Intérieur. En Algérie, à Zeralda (1972), un groupe franco-belge (Houben, Pedrotti et Belmans) réalise des logements expérimentaux en pisé stabilisé dans le cadre de la politique d'état soutenant le développement de *wilayas* du sud. En France, dans les années 1970, le Secrétariat des Missions d'Urbanisme et d'Habitat (SMUH), valorise la construction en terre dans sa revue *Planification Habitat Information* et traduit un ouvrage des Nations Unies sur *le béton de terre stabilisé et son emploi dans la construction* (1974). A Rosso, Mauritanie, l'Association pour le Développement d'une Architecture et d'un Urbanisme Africain (ADAUA), avec l'architecte espagnol Josep Esteve, développe des projets de logements urbains en blocs de terre comprimée aux formes en voûtes et coupoles dérivées de Fathy et intégrant des systèmes de climatisation naturelle inspirées de la culture persane. Ces engagements trouvent leur homologue dans les projets de l'anglais John F.C. Turner, au Pérou, avec les communautés populaires de la périphérie de Lima (Turner 1979) dont l'aphorisme « un matériau n'est pas intéressant pour ce qu'il est mais pour ce qu'il peut faire pour la société » est désormais célèbre. Cette politique de coopération bilatérale avec les pays du Sud sera amplifiée dans les années 1980 par des agences gouvernementales créées pour ce faire dans la plupart des pays d'Europe occidentale. Ainsi les projets pilotés par le programme Rexcoop en France avec des pays d'Afrique. Ainsi, le vaste projet d'habitat social mené sur l'île de Mayotte (archipel des Comores) à partir du début des années 80. Un projet exemplaire, encore unique en son genre pour l'ampleur des réalisations et la durée de son développement jusqu'à ce jour qui a constitué un véritable patrimoine architectural en terre sur une île qui ne disposait que d'un patrimoine végétal précaire il y a à peine 25 ans. Mais ce sont aussi tous les nombreux projets soutenus par des ONGs, associations ou organisations caritatives des pays d'Europe (CCFD et Cimade en France, *Misereor* et *Brot für diei Welde*, en Allemagne, et tant d'autres), qu'il faut aussi relever tout en rendant hommage à cette mobilisation européenne en faveur des pays du sud où désormais le relais est pris par de plus en plus nombreux acteurs locaux. Un défi constant, plus que jamais nécessaire pour garantir le droit au logement des plus démunis et en deçà la consolidation d'un climat de paix mondiale.

Dans ce contexte doit être relevé, l'impact de Hassan Fathy au cours des années 1970 et 80 par la diffusion de son livre « Construire avec le peuple » (Fathy 1969, 1970, 1974 et 1981) relatant son projet du Nouveau Gourni, puis par des monographies sur son œuvre (Richards et al. 1985 ; Steele 1988). Le « maître » fut le mentor de toute une génération de jeunes architectes européens qui prennent acte de leur mission de construire pour les pauvres de ce monde en valorisant les ressources locales dont le matériau terre. Parmi quelques réalisations d'architectes « à la manière de Fathy », relevons le village de Maadher, près de M'Sila, en Algérie, des architectes égyptiens El Miniawy. Ou encore, la réalisation de la Mosquée de la Fondation Dar al-Islam, à Abiquiu, Nouveau Mexique, en 1981, chantier lancé avec la participation de Fathy lui-même. D'autres réalisations plus luxueuses, dans le lignage des villas que Fathy réalisa pour une clientèle aisée en Egypte, comme la villa Sims de Olivier Sednaoui, près de Louxor. En Europe, des groupes comme CRATerre (France) ou Development Workshop (Angleterre et Canada) ont aussi fondé leurs engagements professionnels, d'enseignants ou de chercheurs sur cette impulsion donnée par Hassan Fathy.

Le premier choc pétrolier de 1973, l'écologie et la pensée environnementaliste.

La croissance économique euphorique des pays d'Europe qui démarre dans les années 1960, l'indépendance des nations colonisées, l'évidence d'une fracture du monde entre riches et pauvres, développement et sous-développement, secoue les modèles idéologiques et les systèmes d'idées dominants. La publication en 1972 de « Halte à la croissance », rapport du Club de Rome qui souligne le grand danger d'épuisement des ressources naturelles, de pollutions et dégradations de l'environnement, marque une nouvelle étape de conscience internationale. Le premier choc pétrolier de 1973 réactive

l'impact du legs gandhien qui proposait dans le contexte de l'Inde un développement à visage humain fondé sur une technologie au service de l'homme. Des écrits plus anciens d'anthropologues valorisant le don dans les sociétés traditionnelles (Marcel Mauss rééd. 1999) ou l'abondance des sociétés primitives (Marshall Sahlins, 1976), le despotisme des états (Pierre Clastres 1974) ou encore les dérives du libéralisme (Karl Polanyi 1983), des essais plus récents comme ceux d'Ivan Illich (1969, 1973), de René Dumont (1973), de Ernst Friedrich Schumacher (1973), d'Ignacy Sachs (1977) ou de John Turner (1979), vont avoir des répercussions internationales considérables sur une recherche d'alternatives à la toute croissance glorieuse et ses impacts dévastateurs sur la vie des sociétés, sur l'environnement et l'économie mondiale. Dès lors est désignée la bienveillance douteuse des pays riches vis-à-vis des nations pauvres. Dès lors sont pointés le coût du développement et la dépendance à un développement fondé sur la croissance, l'égoïsme matériel des sociétés privilégiées, la course au superflu sous la bannière du *small is beautiful*. Dès lors émerge un sens éthique de sauvegarde du futur associé à une conception démocratique citoyenne et responsable. Dans ce contexte s'affirment les nouvelles conceptions de technologies appropriées, intermédiaires, naturelles, douces, économiques, autant de vocables pour désigner l'alternative technologique possible. C'est le temps d'une puissante critique sociale, écologique et économique, le temple de l'autonomie, de l'autogestion, d'un mouvement alternatif mondial qui génère ses leaders en Europe. En Angleterre, Teddy Goldsmith (1994, 1995, 2001) fonde la revue *The Ecologist*, en 1969. Elle est aujourd'hui la tribune mondiale de l'écologie et de l'altermondialisme. En Allemagne, le mouvement *Die Grünen* (les Verts) émerge sur fond d'une critique politique, sociale, culturelle et politique violente d'une extrême gauche radicale (Bande à Baader), comme en Italie (Brigades rouges). Le Tiers monde a lui aussi ses leaders comme Anil Agarwal (retour à la terre) et Ivan Illich (1969, 1971, 1973), pour les plus emblématiques. La fin des années 1970 crée un environnement favorable pour un renouveau de la construction en terre que valorisent plusieurs publications européennes ou nord-américaines largement diffusées (Parenthèses, France, 1978, 1979, 1980, 1981) qui mettent en avant les réalisations d'une jeune culture américaine où prend notamment place le mouvement des architectures solaires bioclimatiques en adobe du sud ouest des Etats-Unis. L'impact sera très important dans les pays européens qui voient fleurir de nombreuses réalisations inspirées de cet exemple. En France, à Grenoble, l'année 1979 voit la fondation du CRATerre qui deviendra le centre de référence pour le développement d'un programme intégré d'actions dans les domaines de la recherche, de la formation spécialisée, des réalisations pilotes et de la diffusion des savoirs.

La forte mobilisation européenne, des années 1980 à ce jour

C'est à partir des années 1980 que la tendance en faveur des architectures de terre consolide ses bases et donne de l'ampleur aux actions de promotion, dans la plupart des Pays d'Europe. Si les pays d'Europe occidentale ont depuis lors confirmé d'importants investissements durables, ceux d'Europe du Nord et d'Europe centrale restent encore en retrait.

En France, la présentation de l'exposition *Des Architectures de Terre*, de Jean Dethier, au Centre Georges Pompidou, Paris, en 1981, puis dans les grandes capitales d'Europe et du Monde tout au long de des deux décennies suivantes, pose et diffuse les bases d'un nouveau débat scientifique, technique, social, économique et culturel qui prend une ampleur internationale, notamment par son impact démonstratif encourageant l'engagement de programmes dans les pays du sud. Associé à cet événement, la réalisation du projet du *Domaine de la Terre*, sur la commune de Villefontaine, près de Lyon, reste l'unique exemple de projet d'habitat social (Le projet de *la Luz*, de Antoine Predock, à Albuquerque, Etats-Unis, était réalisé en 1975 mais s'adressait à la *upper class*) déclinant les techniques traditionnelles et contemporaines de la construction en terre sur 65 logements. Cette réalisation phare aura été visitée par des milliers de professionnels et des centaines de délégations officielles venant du monde entier. Elle a prouvé sa fiabilité technique et économique (entre - 20% et + 10% du coût de construction de l'époque), comme énergétique (jusqu'à - 50% des coûts de chauffage électrique annoncés par EDF). Ces deux événements auront un impact direct sur la réalisation de nombreux colloques et séminaires organisés par des organismes d'Etat (Plan Construction 1981), des écoles d'ingénieurs (ENTPE, 1982, 83 et 84) ou même une direction régionale d'Archéologie (Lyon, 1983). Dès lors la France engage des actions de coopération pilote, notamment avec le programme REXCOOP, au Maroc, également propice à l'organisation de plusieurs séminaires (Paris, Rabat, Marrakech 1983-87). Ce début des années 80 marque aussi le lancement du vaste programme d'habitat social sur l'île de Mayotte, collectivité territoriale française dans l'archipel des Comores. Ce programme, lancé avec le soutien scientifique et technique du CRATerre, toujours en développement, va valoriser la filière BTC et démontrer la possibilité de générer un patrimoine d'architecture publique et sociale (ce sont des milliers de logements) grâce à l'investissement d'architectes très actifs et créatifs dont Léon Attila Cheyssial et Thierry Legrand, mais aussi par la Société Immobilière de Mayotte (SIM), pilotée par Vincent Liétar. Le programme de Mayotte est la preuve irréfutable que la filière terre peut être porteuse d'un véritable développement social et économique, comme patrimonial, profitable à une collectivité locale et aux professionnels du bâtiment. Il est aussi à l'origine d'une norme française sur la construction en BTC qui vient combler une grande lacune normative en France où les textes de 1945 sur le pisé stabilisé, issus des expériences du Bosquet, après guerre, ont été retirés. L'époque est aussi propice à la

création de plusieurs associations (Inventerre, Panterre, Pisé Terre d'Avenir, Globetroterre), qui organisent des rencontres, des expositions, à l'échelle régionale ou locale (Champagne, Picardie, Normandie, Bretagne, Aquitaine, Dauphiné). De même des délégations des Maisons Paysannes de France, des Ecomusées (Champagne, Alsace, Ile-et-Vilaine, Marais Breton et Marais du Cotentin et du Bessin), des CAUE (Ain, Cotentin), développent une approche spécifique sur la restauration et réhabilitation des patrimoines en terre locaux. De jeunes architectes et des entrepreneurs réalisent des projets d'habitat qui valorisent les techniques du BTC et du pisé (D. Lasnes à Nantes, J. Colzani à Toulouse, D. Urien à Rennes, F. Lahure à Beauvais). Cette activité n'a eu cesse de croître au cours des années 1990 et ces 15 dernières années ont connu la réalisation de projets d'un certaine envergure comme l'immeuble *Salvatierra*, à Rennes (40 logements, 2001), alors que l'activité de construction de maisons et l'activité de restauration et réhabilitation des patrimoines régionaux prend de l'ampleur, notamment en Bretagne (autour de Rennes), dans le Cotentin et le Bessin, dans le Toulousain et dans le Dauphiné. Des entrepreneurs font également preuve d'innovation technologique en inventant le procédé de blocs de bauge (Guillourel à Rennes) ou de Pisé (Meunier en Auvergne), ou la diffusion de produits et composants valorisant la filière sèche (AKTerre), comme le retour des enduits en terre (L. Coquemont à Rennes, CRATerre à Grenoble et à l'échelle européenne). Il n'est pas d'années en France, au cours de ces deux dernières décennies, qui ne connaisse pas un événement autour de la terre. Durant cette période des années 1980-90, la France a consolidé sa position de référence dans le domaine de la recherche scientifique et architecturale et dans le domaine de l'enseignement universitaire et professionnel. Le CRATerre, à Grenoble, reste la seule équipe au monde à proposer une formation spécialisée de 3^e cycle se déroulant sur 2 ans où viennent des professionnels du monde entier. C'est également cette équipe, associée à des partenaires internationaux (ICCROM, Italie) qui a créé en 1989 le *Projet Gaia* sur la conservation des patrimoines architecturaux en terre, développant des enseignements spécifiques d'impact international (1989, 90, 91 et 92), puis des cours régionaux panaméricains (1996 et 99) dans le cadre du *Projet TERRA* qui élargissait le partenariat au GCI (Etats-Unis) en 1997. Désormais, avec la *Chaire Unesco Architectures de Terre, cultures constructives et développement durable*, CRATerre et l'Ecole d'Architecture de Grenoble sont en mesure d'amplifier leur mission en facilitant le développement de centres universitaires homologues dans d'autres pays du monde. Plus récemment, les expositions *Tout autour de la Terre* et *Grains d'Isère*, organisées par le CRATerre, aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, à Villefontaine, (2002, 2003 et 2004), soutenues par un programme de valorisation du pisé dans 48 communes du nord de l'Isère regroupée dans l'association Isère Porte des Alpes, traduisent une évolution importante du propos développé autour de la construction et des architectures de terre en France. C'est l'évidence d'un programme qui intègre simultanément la dimension de sensibilisation publique, de démonstration technologique innovante, et surtout d'une pédagogie et d'une didactique d'avant-garde où le chantier est l'outil de formation des futurs architectes. Héritage de la stratégie d'action intégrée de recherche, formation, application et diffusion du CRATerre qui a finalement été inspiratrice pour beaucoup d'opérateurs universitaires homologues, à l'étranger. Mais, dans l'évolution du domaine normatif, malgré la norme BTC issue du programme de Mayotte, la France reste en repli par rapport à d'autres pays d'Europe (Allemagne, Italie). Elle reste encore le pays d'Europe qui, notamment autour de la dynamique impulsée par CRATerre-EAG (depuis 1979) et par l'exposition du Centre Georges Pompidou (depuis 1981) garde une grande force d'impact sur le développement durable d'activités au niveau national, régional et international. Toutefois, cette position consolidée de la France est désormais exposée à une forte concurrence résultant de nouvelles initiatives dans d'autres pays européens (Italie et Portugal) dont on ne peut que se louer.

L'Italie a contribué à la mise en évidence d'une culture européenne et plus largement mondiale des architectures de terre traditionnelles par les travaux du géographe Osvaldo Baldacci (1958) que l'on a déjà cité. Mais c'est au cours des années 1980 que l'intérêt s'est développé, notamment grâce à des actions de coopérations menées par des universitaires et scientifiques italiens avec les pays du Maghreb et d'Afrique, et du Moyen-Orient (les travaux d'archéologues italiens comme Giorgio Gullini en Iran, Paolo Costa en Oman, et Paolo Matthiae en Syrie, p.e.). La découverte de la qualité des architectures de terre dans ces régions a influencé l'engagement des premières recherches et études, et d'une réflexion technique et architecturale en Italie. Dès le début des années 1980, deux événements importants doivent être relevés. La publication de l'ouvrage de Eugenio Galdieri, *Le meraviglie dell'architettura in terra Cruda* (1982), puis la première exposition *Le case di terra : memoria e realtà*, présentée en 1985 à Pescara (Marches) qui confrontait la typologie des architectures de terre vernaculaires italiennes et ses potentialités de réutilisation à la lumière des expériences algériennes. Puis entre 1987 et 1990, des chercheurs italiens ont participé à des événements internationaux réalisés en Italie, en France et aux Etats-Unis (conférences à Rome, à Lyon et à Las Cruces), valorisant le patrimoine italien. Ce fut alors le point de départ d'une succession de conférences internationales proposées par l'Italie et organisées en Sardaigne (1990 et 1991) qui permit l'organisation d'une deuxième exposition sur l'architecture de terre en Italie focalisant sur le patrimoine en adobe des *campidani* sardes. Actuellement ce sont les régions des Abruzzes, des Marches et de la Sardaigne, qui sont les régions focales et très porteuses pour l'organisation d'événements, pour le développement d'une documentation, de recherches et d'études sur les architectures de terre en Italie. On ne compte pas moins de 37 événements organisés entre 1985 et 2003. Ainsi, depuis 1997, les Abruzzes accueillent chaque année, à

Casalincontrada, une *Festa della Terra* qui constitue un forum national et international d'échange d'information. De même, plusieurs associations ont été créées comme ARCH-Terra (1991), ARCHE-B (1991), AICAT (1994), le *Rete dei Comuni della Terra* (1996), l'Association *Terrae Onlus* (2000) et l'*Associazione Nazionale Città Della Terra Cruda* (2001). De très nombreux ateliers s'adressant aux étudiants, professionnels et techniciens, sont organisés par ces associations en liaison avec les universités italiennes investies dans le domaine, en Sardaigne et dans les Abruzzes. La publication en 1999 de *Architetture Di Terra In Italia*, de Mauro Bertagnin, professeur à l'Université de Udine, fait date pour la valorisation des cultures constructives et des architectures de terre du pays. L'Italie a su constituer un vaste réseau qui compte sur des universités et des facultés, des professionnels et des administrations de plus en plus actives sur la restauration et réhabilitation des architectures de terre du pays, qui assurent une promotion publique efficace. Il faut aussi relever la fondation récente, en 2001, du Module UNIVERSITERRA qui rassemble 17 universités et constitue un système d'échange de l'information sur la recherche et toutes les activités organisées par les universités italiennes autour de l'architecture de terre. Une première publication prend date (2002). Notons aussi que l'Italie a créé deux Centres de documentation, dont le CEDTerra de Casalincontrada (Abruzzes) et plusieurs laboratoires de recherche et d'expérimentation sur les matériaux, toujours à Pescara (le DiTAC) et dans les facultés polytechniques, départements d'architecture, de Milan (Gruppo Terra), Turin (*Laboratorio Prove Materiali e Componenti*), Cagliari (*Labterra*) et Udine (*Lateris*). L'ensemble des opérateurs italiens, entre la fin des années 1980 jusqu'à ce jour, a publié pas moins de 165 livres et monographies, essais collectifs et minutes de conférences, articles de périodiques et magazines, produits vidéos et hypertextes (source ICCROM, 2004). Plus encore, à partir de ces pôles dynamiques, l'Italie développe une approche en faveur d'une normalisation des dispositions de protection, de pratiques de restauration et de valorisation du patrimoine en terre, qui trouve ses ancrages régionaux, dans les Abruzzes et au Piémont. Ainsi, l'Italie montre aux autres pays d'Europe qu'il est possible de développer un programme intégrant des stratégies claires et volontaristes en travaillant à la fois sur la promotion, l'échange et la diffusion de l'information, la création d'associations, l'investissement d'administrations publiques, le renforcement d'un véritable front universitaire, des initiatives commerciales et des propositions de normes. Une forte dynamique a vu le jour au sud de l'Europe qui ouvre plus largement et sûrement l'avenir des architectures de terre.

Au Portugal c'est la conservation du patrimoine architectural en terre qui stimule l'engagement du pays sur la problématique des architectures de terre, à partir des années 1990. La D.G.E.M.N. (Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais) donne son appui à une première rencontre d'architectes, « Bâtir en terre en Méditerranée » qui se tient à Silves, ancienne capitale musulmane de l'Algarve, en 1992. Elle organise en 1993 la 7^{ème} Conférence Internationale sur l'Etude et la Conservation des Architectures de Terre, toujours à Silves puis un concours national pour un projet de bibliothèque en 1994. Cette même année elle supporte activement, avec l'appui scientifique et pédagogique du Projet Gaia (CRATerre et ICCROM), l'initiative de création d'un *Curso de mestre de construção civil tradicional - construção de terra* (Cours de maîtres de construction civile traditionnelles – construction en terre) à l'Ecole Nationale des Arts et artisanats Traditionnels de Serpa qui se tiendra de 1994 à 1999. c'est sur la base de cet investissement politique de la D.G.E.M.N. que la plupart des nouvelles initiatives portugaises vont se développer. Depuis 1993 jusqu'à ce jour on n'a repéré pas moins de 20 événements (séminaires, conférences, expositions) organisés autour de la terre au Portugal. Ce pays confirme aussi l'engagement des architectes et des entreprises dans la démarche de projet avec dès la fin des années 1980, les premiers projets de José Alegria, émule du jeune architecte marocain Elie Mouyal déjà connu pour ses réalisations de villas luxueuses dans la palmeraie de Marrakech. Dès le début des années 1990, d'autres architectes adoptent la même démarche, comme Teresa Beirão et Alexandre Bastos qui mettent le pied à l'étrier avec la construction de leur propre maison (120 m²). Par la suite, ils réaliseront 5 autres projets de maisons privées, entre 1994 et 1997, dans le voisinage de leur municipalité de Odemira, Alentejo (à São Luís, São Teotônio), sur le rivage de l'Atlantique (à Vila Nova de Milfontes), et une rénovation d'un bâtiment paroissial à Cercal, municipalité de Santiago do Cacém. D'autres architectes suivent la même démarche comme José Brito, Graça Jalles ou Henrique Schreck, toujours à Odemira et à Aljezur. Jürgen Sandek, un allemand qui s'installe à Lagos (Algarve) crée à la fin des années 1990 une entreprise de production de briques d'adobe, *Construdobe*, qui produit de l'ordre de 500 000 blocs durant la saison sèche, ce qui confirme l'existence d'un marché porteur dans le pays. En 2003, l'architecte Catarina Pereira prend l'initiative de la création de l'*Associação Centro da Terra*, une association à but scientifique, culturel et professionnel souscrivant à l'objectif du développement durable et se donnant pour mission de promouvoir l'architecture de terre au Portugal. Plusieurs enseignants et chercheurs d'universités sont également très actifs depuis 1991 dans le programme ibéroaméricain CYTED, fondé en 1984 et rassemblant 19 pays, et son sous programme *Habyted*, créé en 1987 dont la vocation est de classer, standardiser et diffuser la technologie de construction en terre. Ce programme a laissé place en 1998 au Projet de Recherche *PROTERRA* qui a créé deux comités de « Projets » et de « Normalisation » et a déjà organisé 2 séminaires internationaux « SIACOT » (*Seminario IberoAmericano de Construcción con Tierra*), au Brésil en 2002 et en Espagne en 2003, le prochain devant être accueilli par l'Argentine (2004) puis par le Portugal (2005). Quatre Universités portugaises se mobilisent (*Universidade de Evora, Universidade de Lusiada, Universidade Moderna et Escola Superior Gallaecia*,) sur des activités régulières de séminaires et conférences

thématiques autour de l'architecture de terre. L'*Escola Superior Gallaecia*, à Vila Nova de Cerveira, qui accueille un laboratoire de recherche sur le matériau terre, le CICRA, semble être l'institution qui déploie la stratégie la plus claire et proactive. Le Portugal se démarque par une logique professionnelle active et une véritable volonté de coordination nationale.

En Espagne, les initiatives en faveur de la promotion des architectures de terre semblent remonter à l'année 1982, à l'initiative d'un allemand, Erhard Rohmer, qui créait l'Ong *Inter-Acción*, à Navapalos (Province de Soria), un village abandonné qu'il choisissait de réhabiliter. C'est à partir de ce pôle que pendant 12 années, *Inter-Acción* va développer des activités de formation, de séminaires internationaux, principalement tournées vers l'objectif d'une coopération de l'Espagne avec les pays d'Amérique latine. Mais cette activité continue, bien que soutenue par le gouvernement espagnol, n'a pas directement influencé le pays qui a pourtant organisé 8 autres événements dans la même période. Outre les actes annuels des séminaires de Navapalos, on doit toutefois relever la publication de quelques ouvrages qui font référence dans le pays, tels celui de Firmín Font et Pere Hidalgo (1991), de José Luis Alfonso Ponga (1994), une monographie sur la traditions des pigeonniers de la Province de León (1993), une étude typologique sur la *Casa de Corral* (ferme d'élevage) en Castille et León (2001), par des chercheurs de l'*Escuela de Agrónomos, Departamento de Construcción y Vías Rurales* de l'*Universidad Politécnica de Madrid* (ETSIA), et d'autres publication du CIAT (*Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional* de Boceguillas, Segovia) créé à l'initiative d'enseignants de l'*Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid* (ETSAM), dont un remarquable *Diccionario de Construcción Tradicional* (2003). D'autres universités espagnoles (Valence, Grenade, Barcelone, Séville, Valladolid) investissent le domaine mais de façon encore velléitaire et dépendant de volontés de personnes encore peu soutenues par une stratégie institutionnelle volontariste et claire. Peu d'architectes espagnols se sont saisis de la question du projet si ce n'est pour des restaurations et réhabilitations de quelques ouvrages patrimoniaux, comme la restauration d'ouvrages fortifiés des époques maures et arabes (un projet récent sur les remparts de Caceres, Estremadura et des recherches sur l'Alcazar de Séville). Au cours de ces dernières années, un rare projet d'habitat écologique et bioclimatique en pisé et BTC a été réalisé par une communauté de familles, sur la commune de Amayuelas. L'enjeu d'une plus grande conscientisation institutionnelle et publique reste majeur en Espagne pour voir un développement significatif de la problématique de la conservation du patrimoine en terre hispanique et de la construction contemporaine. Cela paraît paradoxal, notamment à la vue de ces centaines de villages construits en pisé et en adobe de Castille et León (*Tierra de Campos*), qui sont abandonnés et se dégradent irréversiblement. Sur cet enjeu de la promotion, le réseau d'information *Arqui-terra*, créé en 2000 à l'initiative de l'architecte José Maria Sastre, qui rassemble déjà 400 membres originaires des pays de langues latines, est une initiative qu'il convient de relever. Notons enfin que le *Ministerio de Obras Públicas y Transportes* a publié en 1992 une Régulation pour la Conception et la Construction d'Ouvrages en Pisé.

En Allemagne, le renouveau contemporain des architectures de terre doit être situé à la fin des années 1970 et au cours des années 1980. Ces prémisses sont situés au GHK de l'Université de Kassel. Des recherches et expérimentations de l'ingénieur Gernot Minke, associé à Klauss Eckert, proposent des prototypes d'habitat d'urgence en matériaux textiles pour le relogement de sinistrés d'un séisme ayant dévasté le Guatemala (1978). Au début des années 1980, Minke et son équipe travaillent sur l'extrusion de la terre et le compactage dynamique du pisé en réalisant d'autres prototypes. A partir de 1984 et jusqu'en 1987, il éditera une revue, *Bauen mit Lehm*, qui rendra compte de recherches et expériences tout en valorisant les recherches sur le patrimoine architectural en terre d'Allemagne (Guntzel 1986) et constituant l'une des rares revues d'échanges d'information en Europe avec le Bulletin d'Information du CRATerre, en France. Aujourd'hui encore, avec son Institut de Recherche sur la Construction, à Kassel, Minke reste l'un des grands leaders reconnu de l'architecture de terre en Allemagne avec ses travaux sur la construction en terre, textile et végétale, sur l'emploi des énergies régénératives, la climatisation naturelle des bâtiments tout en développant une approche standardisée des tests et essais sur les matériaux, leur stabilisation à l'aide d'adjuvants naturels (cellulose, caséine) afin de faciliter leur plus large diffusion publique. Les activités de Gernot Minke, parfois teintées d'orthodoxie sont aussi contestées mais doivent être situées dans le courant écologique allemand, particulièrement dynamique. Son dernier ouvrage (1994) traduit en plusieurs langues reste une référence en Allemagne. Il faut aussi relever l'important travail de revalorisation de la construction en *Leichtlehm* (Terre-paille) qu'entreprend l'architecte allemand Franz Volhard dès le début des années 1980 à partir de Darmstadt. Son ouvrage (1983) fait date et demeure la référence unique sur cette technique. Mais c'est dans les années 1990 que les architectures de terre prennent un autre essor, à partir d'un nouveau pôle qui s'est constitué à l'Université du Bauhaus de Weimar, autour d'un autre ingénieur, Horst Schroeder. Celui-ci est à l'initiative de la création du *Dachverband Lehm e V* (DVL), en 1992, qui se constitue en réseau de chercheurs puis de professionnels actifs poursuivant l'objectif de la promotion de la construction en terre dans le pays. Depuis 1996, il n'est pas une année (sauf en 2000) où le DVL n'ait organisé les « dialogues sur la construction en terre », sur des thèmes variés. En 1997, deux sommets d'expert sont organisés à Kassel qui aboutissent à la publication d'une nouvelle règle allemande pour la construction en terre (*Lehmbau Regeln*) en 1999. Celle-ci n'est pas une norme DIN mais vient combler la lacune laissée par le retrait en 1970 des normes allemandes qui avaient été publiées entre 1947 et 1956. De

même, l'Allemagne organise périodiquement depuis 1994 de grandes conférences et foires commerciales autour de la terre. Ce sont les conférences *Lehm* d'Aachen (1994), de Viersen (1995), de Berlin (2000) et de Leipzig (2004). Sont présents toutes les entreprises développant une activité autour du matériau et de ses transformations en produits ou composants de construction, comme des artisans valorisant une production autour de l'argile. Il faut noter que déjà, en 1998, plus de 1000 artisans et petites entreprises avaient été repérés et que le chiffre d'affaires en vente atteignait près de 15 millions de DM (ce qui reste peu malgré tout en comparaison des autres filières de bâtiment). Parmi ces entreprises, celle créée par Peter Breidenbach, à Viersen, *Claytec*, reste emblématique de cette filière d'entreprises allemande. Cet entrepreneur a développé tout en ensemble de produits valorisant la filière terre « sèche », comme des panneaux préfabriqués pour cloisons, plafonds et doublages de toiture, des matériaux livrés en vrac et en sacs comme la terre-copeaux bois ou des enduits de terre-paille, des briques de terre (adobe-machine) et des briques de terre allégées en terre-paille. *Claytec* mène une stratégie économique proactive en franchisant de nouvelles entreprises dans d'autres pays d'Europe (AKTerre en France p.e.). Notons aussi, dans le domaine de la coopération internationale plusieurs faits remarquables. D'une part l'action continue des grandes *Ongs allemandes caritatives comme Misereor et Brot für die Welde*, ou encore de ARTEFACT, Ong liée à une équipe universitaire, ARTES (*Appropriate Rural Technology Extension Skills*), qui soutiennent très activement le développement de projets dans les pays du Sud, particulièrement en Amérique latine et en Afrique. Ces projets valorisent souvent la construction en terre et la promotion des compétences professionnelles par la formation *in situ*. D'autre part, la création en 1987, à l'initiative de Hannah Schreckenbach, qui travaillait alors au *German Appropriate Technology Exchange* (Gate), organe de la *Deutsch Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ, coopération allemande), d'un service de Conseil en Bâtiment et réseau d'information, BASIN. Ce réseau actif a publié une revue internationale biannuelle dans les années 1990, associant dès le départ plusieurs partenaires européens, en Angleterre (ITDG), en France (CRATerre) et en Suisse (SKAT). Le réseau a été étendu à d'autres Ongs du monde (Kenya, Philippines, Inde) à la fin les années 90. D'autres événements importants qui se sont tenus en Allemagne sont à souligner. D'une part dans le domaine de la promotion publique des architectures de terre, avec la production, en 1985 de deux émissions de télévision sur la 2^{ème} chaîne allemande ZDF, réalisées par Jürgen Schneider qui, sur la lancée publiait un ouvrage grand public (1985). De même, plus récemment, la Foire Mondiale de Hanovre (2000) qui a permis une démonstration surprenante de construction en bambou de l'architecte colombien Simon Velez cohabitant avec d'autres manifestations autour de la terre. Le pays est aussi très actifs dans le secteur de la restauration et réhabilitation du patrimoine architectural en terre avec une position éthique tout à fait remarquable qui permet une valorisation des matériaux de terre traditionnels et plus actuels. Des architectes font acte de projets de grande qualité et il convient de relever ici les partenariats qui ont pu être établis avec des entreprises de pointe dans le domaine, dont celle de Martin Rauch à Schlin, Autriche (Vorarlberg). Ils ont abouti à des réalisations d'une qualité exceptionnelle comme la fameuse Chapelle de la Réconciliation, construite à Berlin en 1999, conçue par les architectes Reitermann et Sassenroth. Les autres projets réalisés par Rauch, qui est sans aucun doute le leader européen d'une nouvelle grande architecture de terre, sont situés en Autriche et en Suisse. L'Allemagne montre à l'évidence une capacité et une dynamique exceptionnelle de valorisation de la construction en terre portée par une vision claire axée sur la perspective du développement durable. Une stratégie pragmatique qui bénéficie d'un climat particulièrement porteur autour du mouvement *Die Grünen* (Les Verts).

En Grande-Bretagne, au-delà des années 1920, avec les actions du *Ministry of Agriculture and Fisheries* mettant en œuvre le *Land Settlement Act* de 1919 (construction de cottages en zone rurale pour des agriculteurs anciens soldats), puis du *Building Research Station*, après la 2^{ème} Guerre Mondiale sur la stabilisation du matériau terre, on doit relever des actions prenant place dans la période précédant l'indépendance des colonies. Le *War Department* qui recherchait des solutions pour répondre aux besoins en construction économique des régions d'Outre Mer, a suivi avec intérêt le travail du *Overseas Food Corporation* sur la construction en BTS mené en Afrique de L'Est et de l'Ouest. A sa demande, le *Building Research Station* réalise en 1950 un bâtiment expérimental en BTS. Après l'accord de la souveraineté à l'Inde en 1947, des ingénieurs-urbanistes agissant comme conseillers auprès des gouvernements développent la construction de logements et d'équipement collectifs en BTS, en application des normes anglaises (British Standards Institution) sur la construction en terre qui dataient de 1941 à 1951. A Kumasi, Ghana, un programme de lotissement construit en *swishcrete* (latérite stabilisé), conçu et réalisé de 1944 à 1948, sous la direction de l'ingénieur-urbaniste A.E.S. Alcock, s'adressant aux *Asante* aux revenus modestes, est considéré comme exemplaire. A la fin des années 40 et au début des années 50, plusieurs écoles sont construites en terre dans les *British West Indies* (Petites Antilles, île de Saint Vincent et des Grenadines), avec l'appui du *Colonial Development and Welfare Fund*. Les années 60 et l'indépendance de nombreux pays marquent un arrêt quasi complet des programmes officiels de construction en terre portés par la Grande Bretagne. Au tournant des années 80, la Grande Bretagne apporte un nouvel appui aux pays en développement par l'intermédiaire du *Building Research Establishment* et sa *Overseas Division*. Ces actions de coopération visent à dynamiser les recherches dans les universités et les instituts de recherche du bâtiment, notamment sur la stabilisation du matériau terre et sur les matériels de production (presse BREPAK développée au Kenya, p.e.). Ces recherches sont le plus souvent liées à des projets démonstratifs de réhabilitation de

quartiers spontanés. Il faut aussi relever la fondation de ITDG (*Intermediate Technology Development Group*), par l'économiste radical Ernst Friedrich Schumacher, en 1966, dans l'objectif de prouver la validité de sa philosophie du *small is beautiful*. ITDG sera le fer de lance du développement des Technologies Appropriées ou Alternatives (T.A.), concept forgé par Schumacher. De nombreux projets seront réalisés depuis lors et en continu jusqu'à ce jour par cette Ong anglaise de Rugby, qui rassemble 300 personnes sur 4 continents et a prodigué ses services d'expertise et de conseils, d'assistance technique dans plus de 60 pays. Cette activité couvre les domaines de l'habitat, de l'agriculture, de l'énergie, de l'eau, de la santé rurale, de la formation et de la place de la femme dans le développement. ITDG remplit aussi un rôle de tout premier plan dans la diffusion par son activité soutenue de publication. Notons aussi l'investissement plus récent d'universités anglaises dans la recherche et l'enseignement, la coopération internationale. C'est le cas de l'Université de Bath autour de Timothy Williams et de Peter Walker qui développent des recherches sur le BTC, et de l'Université de Plymouth, autour de Linda Watson. Celle-ci, avec son *Center for Earthen Construction* de l'école d'architecture, a organisé en 1994 et 1995, deux séminaires européens (*Out of Earth I et II*). Elle a aussi co-organisé, avec le soutien du *English Heritage*, la 8^{ème} Conférence Internationale sur l'Etude et la Conservation de l'Architecture de Terre, qui s'est tenue à Torquay, Devon, en mai 2000. L'Angleterre est aussi très active dans le domaine de la conservation, restauration et réhabilitation de son patrimoine architectural en terre et l'on doit relever l'important travail réalisé sur l'architecture en *cob* du Devon par des experts de talent (Pearson, 1992 ; Bedford 1994 ; Honeysett 1995 ; Keefe 1993 et 1998 ; Bouwens 1994). De même, en Ecosse, le *Historic Scotland* a produit un remarquable ouvrage sur les structures et constructions en terre en Ecosse (Walker, MacGregor et Little 1996). Enfin, en 1992, le *British Standards* a réactualisé une norme sur l'emploi structural de la maçonnerie non renforcée qui concerne la construction en terre. D'autres recherches ont été aussi menées par le *Courtauld Institute of Art, Conservation of Wall Painting Department* (Shekede 1999). Ainsi, la Grande Bretagne a une longue histoire d'investissement, interrompue et reprise, mais qui reste encore située dans une démarche nationale éparpillée, aujourd'hui moins portée par une volonté politique affirmée et s'appuyant pour l'essentiel sur la volonté de personnes passionnées. Le début d'un ancrage universitaire peut offrir de nouvelles perspectives.

La Belgique a peu construit en terre mais a été l'un des premiers pays à entreprendre des recherches en mécanique des sols et sur la stabilisation au ciment. Ainsi, dès 1919 (Bardagot 1991), la terre stabilisée est utilisée pour les routes et les pistes d'aviation, principe repris par plusieurs pays par la suite. En 1920, 11 maisons ont été bâties en briques de terre stabilisée, selon un procédé dénommé *LaTerrademente*, dans la ville d'Ypres. Le procédé sera ensuite adopté pour la construction d'autres lotissements à Schaerbeek et Uccle et servira d'exemple à des britanniques du *Building Research Station* qui engageront ainsi leurs recherches sur la terre stabilisée et son emploi pour la construction. En 1952, le gouvernement Belge institue un Office des Cités Africaines (OCA) sous la tutelle du Ministère des Colonies. Cet institut est chargé de développer une politique gouvernementale dans le domaine du logement économique, au Congo Belge, au Rwanda et au Burundi. L'OCA préconise l'emploi des parpaings de terre stabilisée à la suite d'expérimentations qui avaient été réalisées en 1951. Ce procédé est utilisé pour de nombreuses maisons à Stanley-ville dès 1953 et à Bujumbura dès 1954. Les grands chantiers de l'OCA ont permis la réalisation, de 1952 à 1955 de 22 235 logements et de 424 commerces et ateliers dont quelques centaines en terre stabilisée. Dans les années 1970, plusieurs coopérants belges réaliseront des projets dans d'autres pays d'Afrique, notamment en Algérie (Zeralda, Houben et Belmans, 1972). Au tournant des années 1980, l'Administration Générale de la Coopération au Développement (AGCD) soutient financièrement de nombreux projets dans le domaine de l'habitat et des établissements humains. Ces projets sont portés par des Ongs et des universités, notamment par le *Post Graduate Centre Human Settlements (PGC-HS)* de la *Katholieke Universiteit* de Leuven, autour de Han Verschure. Ce centre organise aussi un cycle de formation spécialisée avec le soutien de l'AGCD et en collaboration avec l'Institut Supérieur d'Architecture de l'Etat – La Cambre de Bruxelles, l'Université Catholique de Louvain et la Faculté Polytechnique de Mons. Dans le domaine de la coopération internationale, les Ongs Belges, soutenues par le gouvernement, sont très actives. Coopibo est l'une d'entre elles qui intervient le plus dans le domaine de l'habitat à coût réduit. Il faut aussi relever l'existence de plusieurs petites entreprises à l'origine de la création de presses pour BTC désormais célèbres comme Appro-Techno (la fameuse Terstaram) ou Ceratec, et d'autres. Notons que la Belgique a organisé en 1984, en coopération avec le CNUEH-Habitat, le colloque international *Earth construction technologies appropriate to developing countries* qui fut un événement majeur de l'époque permettant de faire le point sur l'état de l'art et des projets réalisés au cours des dernières décennies dans les pays du Sud. Les actes de ce colloque ont notamment donné lieu à l'édition de la première version du *Earth Construction Primer* par le CRATerre (Houben et Guillaud), base de leur désormais célèbre Traité de Construction en Terre. Enfin, dans la mouvance du développement d'une bioarchitecture, la Belgique a permis ces dernières années la réalisation de plusieurs édifices qui retiennent l'intérêt.

Les Pays-Bas, par ses chercheurs de l'Institut des Sciences Humaines de l'Université de Technologie de Eindhoven, a apporté d'excellentes contributions sur l'étude et la mise en valeur des architectures en terre africaines. On doit relever particulièrement les études faites sur Djenné, au Mali, au début des années 1990 (Maas 1990, Maas et Mommersteeg

1992, 1993, 1994). Un plan de projet de réhabilitation et de conservation de l'architecture de Djenné a été proposé par des chercheurs hollandais, sous la direction de Roger Bedeaux, en 1996. De même des recherches plus technologiques sur la problématique climat-habitat-culture, également menées à Eindhoven par Peter Schmid (1982, 1985). Mais, bien que l'on connaisse l'activité et l'efficacité de nombreux universitaires et d'Ongs des Pays-Bas dans la coopération internationale, on ne dispose que de très peu d'information sur l'investissement du pays dans le domaine des architectures de terre. Il faut néanmoins relever le travail sur les enduits à base de terre que développe Carl Giskes, depuis 1989 qui l'ont amené à mettre au point le procédé *Tierrafino*, un enduit de finition à base d'argile utilisé sur de très nombreuses réalisations d'excellence.

Pays nordiques et Scandinaves. Bien qu'un patrimoine d'architecture de terre ait été repéré au Danemark (Risom 1959), et que des maisons aient été réalisées par Sven Risom lui-même à cette époque, à la manière de construction du 18^{ème} siècle, on ne dispose que de très peu d'information sur l'actualité des architectures de terre dans ce pays. Il semblerait que des réalisations d'habitat bioclimatique en pisé et en terre-paille aient été menées au début des années 1990. **La Suède** semble être plus active. Historiquement, l'influence du danois K.H. Seidelin qui traduisait le 4^{ème} Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale du français Cointeraux, est attestée, sur la base d'une traduction suédoise de Jahan Retzius (1798). Relevons une étude récente sur le patrimoine des architectures de terre du pays, couvrant la période allant de 1750 à 1950, qui a été menée par Lars Allan Palmgren (2003). Cette étude confirme l'existence de maisons en bauge, couvrant la période de la révolution agraire (1750-1850), en *Stöphus* (terre et chaux) couvrant la période de la révolution industrielle (1850-1915), puis en pisé pour la période de la révolution sociale (1915-1950). Mais on a aussi repéré des constructions en adobe (*Lerstenshus*). Au 20^{ème} siècle, le pisé suédois doit aussi beaucoup à l'influence de Karl Ellington qui édita un livre sur cette technique en 1920. Le livre de Palmgren est tout à fait remarquable pour le repérage d'une large typologie d'ouvrages de grande qualité architecturale couvrant des bâtiments ruraux, des manoirs bourgeois, des bâtiments industriels et des habitats villageois ou de bourgs. Durant les récentes années 1990, la Suède, portée par l'impact du mouvement européen écologique, a réalisé plusieurs bâtiments revalorisant la terre, soit sous forme de terre-paille, de pisé ou de briques crues, à Hansgården (1999), à Saltå (1998-99), à Bråtadal/Svarträ (1998-99) et à Orsa (1998-99). **La Finlande**, avec l'Ecole d'Architecture de l'Université de Helsinki, qui dispose d'un laboratoire de recherche sur les matériaux, a développé plusieurs recherches sur les matériaux écologiques alternatifs (Mikael Westermarck). De même, l'Ecole d'Architecture de Oslo, **en Norvège**, s'intéresse à cette tendance et semble commencer à favoriser des recherches dans une visée de coopération internationale avec les pays du Sud.

Pour d'autres pays d'Europe septentrionale et centrale (Pologne, Moldavie, Roumanie, République Tchèque, Slovaquie, Bulgarie), au-delà d'informations accessibles sur les architectures de terre traditionnelles, on ne dispose que de très peu d'information sur les développements contemporains. La Moldavie semble s'être intéressée récemment à la question de la normalisation de la brique de terre crue mais n'a pas abouti sa démarche.

Brève conclusion

L'Europe montre d'une façon claire une triple polarité, occidentale (France), méditerranéenne (Italie et Portugal), mais aussi saxonne (Allemagne et Autriche) en faveur de la promotion d'une nouvelle architecture de terre. Il faut toutefois distinguer : d'une part les pays qui consolident un ancrage dans les universités, avec une articulation plus accessible entre la recherche, l'éducation et le projet de coopération (ce sont plutôt les pays méditerranéens, dont l'Italie et le Portugal, avec aussi la France) ; d'autre part des pays, peut-être plus pragmatiques, qui associent les dynamiques universitaires et professionnelles en dynamisant un tissu d'entrepreneurs. A cet égard, l'Allemagne est l'exemple le plus porteur avec la fréquence d'événements qui laisse toute la place au secteur de l'entreprise. L'Italie confirme toute la force donnée à un secteur universitaire très organisé et montre aussi une nouvelle voie de mise en synergie avec les collectivités territoriales sur la question de la conservation et de la mise en valeur du patrimoine, voie sur laquelle la France est en train de s'engager (Dauphiné, Ille-et-Vilaine, Marais Breton, Marais du Cotentin et du Bessin). Tous les pays d'Europe n'ont pas encore une volonté politique clairement affirmée, avec des stratégies institutionnelles de développement intégrée dans une perspective durable. Cela est encore un grand manque même si des actions demeurent exemplaires. Le soutien des autorités des états n'est pas constant dans l'histoire des développements récents de la construction en terre, il est très inégal et connaît bien des velléités. Les blocages concernant la normalisation sont encore nombreux même si des avancées sont faites. De même, l'enjeu d'une plus forte conscientisation publique reste majeur afin de favoriser l'émergence d'un regard plus largement partagé sur la conservation des patrimoines, et d'une demande sociale plus consolidée pour la construction contemporaine. A cet égard, l'engagement des architectes européens, et des entreprises, est encore timide, très inégal selon les pays, et constitue un frein puissant. On voit pourtant poindre des changements qui semblent prometteurs. Enfin, la mouvance européenne autour de l'écologie et des questions d'environnement semble pouvoir être un vecteur très porteur pour l'avenir d'une nouvelle demande sociale valorisant une autre consommation de l'habitat où la terre pourrait reprendre plus de place.

Bibliographie

- AA.VV. (Angleterre) 1951** : *West indian school built in soil-cement blockwork*. Colonial building notes n°5. Ed. Department of Scientific and Industrial Research. Watford. UK. 1951. 8 p.
- AA.VV. (Angleterre) 1954** : *Rammed Earth houses*. Department of town and country planning. Ministry of Industries, housing and social services. Ed. Government press. Ceylon. 1954. 14 p.
- AA.VV. (Italie) 1985** : *Le Case Di Terra. Memoria e Realtà*. Clua Edizioni. Pescara. Italie. 1985. 47 p.
- AA.VV. (Espagne) 1986** : *NAVAPALOS 86, II encuentro de trabajo sobre la tierra como material de construcción*. Ed. Diputación Provincial de Soria-Inter-Acción. Soria. Espagne. 1986. 289 p.
- AA.VV. (Allemagne) 1988** : *Loam Construction in the GDR*. Rapport de la Délégation de la République Démocratique Allemande à la 11ème Session de la Commission des Nations Unies pour les Etablissements Humains. Delhi. Inde. 1988. 20 p.
- AA.VV. 1996 (Portugal)** : *Arquitectura de Terra*. In : *Mediterrâneo n° 8/9*. Ed. Instituto Medciterrânico, Universidad Nova De Lisboa. Lisbonne. Portugal. 1996. 307 p.
- AA.VV. (Espagne) 1998** : *Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos*. Ede. Ministerio de Fomento, Secretario General Técnica. Madrid. Espagne. 1998. 279 p.
- Adam 1981** : ADAM, J.A. – *Wohn-und Siedlungsformen im Süden Marokkos*. München. 1981.
- Adam et al. 1983**: ADAM, J.A., FARASSAT, D., FIEDERMUTZ-LAUN, A., HROUDA, B., WICHMANN, H., WIENANDS, R., WILDUNG, D., WIRGHT, G.R.H. – *Architektur der Verdänglichkeit Lehm- und Ziegelbau der Dritten Welt*. Ed. Birkhäuser Verlag. Basel, Boston, Stuttgart. 1983. 254 p.
- Alberti (trad. Martin, J.) 1553** : ALBERTI, L.B. – *De Re Aedificatoria*. Paris. France. 1553.
- Albertini 2004**: ALBERTINI, C. – *TERRA-Med Project. An analysis of activities about earthen architecture in the Mediterranean Basin*. Rapport de recherche. ICCROM. Rome. Italie. 2004. 41 p. et annexes.
- Amette 1996** : AMETTE, Ph., AMETTE, K. – *Cultures constructives en Moldavie Roumaine*. In : *Les Carnets de l'Architecture de Terre*, monographie n°2. Ed. CRATerre-EAG. Grenoble. France. 1996. 29 p.
- Anguelova 1986** : ANGUELOVA, R. – *Bulgarie*. In : *Architecture Traditionnelle des Pays Balkaniques*. Manuscrit photocopié. Ed. Melissa (éd. grecque et française). 1986
- Associação Dos Arquitectos Portugueses 1989** : *Arquitectura Popular Em Portugal*. Lisbonne. Portugal. 1989. 763 p.
- Auzelles et Dufournet 1943** : AUZELLES, R., DUFOURNET, P. – *Béton de terre stabilisé*. In : *Techniques et Architecture*, n°9-10. Paris. France. 1943. pp. 263-268.
- Baldacci 1958** : BALDACCI, O. - *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*. Rivista Geografica Italiana, LXV, 1958.
- Bardagot 1991** : BARDAGOT, A.M., et DOAT, P. (dir. Scient.), avec pour la recherche doc. HOUBEN, H., GUILLAUD, H., ODUL, P. – *L'intelligence de l'Europe et le développement de l'habitat économique en terre des années 20 à nos jours*. Rapport de recherche. Ministère de la Recherche et de la Technologie, Département des Sciences de l'Homme et de la Société. Ed. CRATerre-EAG. Grenoble. France. 1991. 89 p.
- Bardou et Arzoumanian 1978** : BARDOU, P., ARZOUMANIAN, V. – *Archi de Terre*. Ed. Parenthèses. Marseille. France. 1978. 103 p.
- Bertagnin 1999** : BERTAGNIN, M. – *Architettura di terra in Italia*. EDICOM Edizioni. Montfalcone. Italie. 1999. 315 p.
- Bollini 2002** : BOLLINI, G. (a cura di) et AA.VV. – *La Ricerca Universitaria Sull'Architettura Di Terra. UNIVERSITERRA 1*. Edicom Edizioni. Montfalcone. Italia. 2002. 153 p.
- Bouchard-Huzard 1870** : BOUCHARD - HUZARD, L. - *Traité des constructions rurales et de leurs dispositions*. 2 vol. Imprimerie et Librairie d'Agriculture et d'Horticulture de Mme Ve Bouchard-Huzard. Paris. France ; 1870.
- Bouwens 1990** : BOUWENS, D. – *Clay-Lump. The English Adobe*. In: Adobe 90 Preprints, 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Las Cruces. Etat-Unis. Ed. Getty Conservation Institute. Los Angeles. Etats-Unis. 1990. 469 p., pp. 14-19.
- Bouwens 1993** : BOUWENS, D. – *English Mud-Brick and Mud Building*. In *Comunicações, 7a Conferência Internacional sobre O Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra*. Silves. Portugal. Ed. De la D.G.E.M.N. du Portugal. Lisbonne. Portugal. 1993. 659 p., pp. 58-63.
- Brunhes 1956** : BRUNHES, J. – *La Géographie Humaine*. Editions Puf. Paris. France. 1956.
- Brunskill 1971** : BRUNSKILL, R.W. - *Illustrated Handbook of Vernacular Architecture*. Edions Faber and Faber. Londres. Angleterre. 1971. 250 p.
- Caton 3^{ème}- 2^{ème} s. av. n.è.** : CATON - *De Agricultura*.
- Chapelot et Fossier 1980** : CHAPELOT, J., FOSSIER, R. – *Le village et la maison au Moyen Age*. Ed. Hachette. Paris. France. 1980. 357 p.
- Clastres 1974** : CLASTRES, P. - *La Société contre l'Etat*. Ed. de Minuit. Paris. France. 1974.

- Cointeraux 1791** : COINTERAUX, F. – *Ecole d'architecture rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils*. Paris. France. 1791. 68 p.
- Columelle 1^{er} s.** : COLUMELLE – *De Re Rustica*.
- Conrad 1840** : CONRAD, E. – *Veder den Pisé-Bau*. Kretschmar. Chemnitz. Allemagne. 1840.
- Correia 2000** : CORREIA, M. – *Le pisé d'Alentejo, Portugal*. Mémoire DPEA-Terre. EAGrenoble. France. 2000. 167 p.
- CRATerre 1989** : HOUBEN, H., GUILLAUD, H. – *Traité de construction en terre*. Editions Parenthèses. Marseille. France. 1989. 355 p
- Deffontaines 1972** : DEFFONTAINES, P. – *L'Homme et sa Maison*. Ed. Gallimard (nrf). Paris. France. 1972.
- Delorme 1745** : DELORME, G.M. – *Mémoire pour la construction des murs en terre*. Lyon. France. 1745.
- Demangeon 1920** : DEMANGEON, A. - *L'habitation rurale en France*. Géographie Universelle. Tome VI. Et, Annales de Géographie, XXIX, pp. 352-375. Editions Armand Colin. Paris. France. 1920.
- Del Rosso 1793** : DEL ROSSO, G. – *Dell'economica costruzione delle case di terra*. Presso J.A. Bouchard. Florence. Italie. 1793. 75 p.
- Dethier 1986** : DETHIER, J. – *Architectures de Terre. Ou l'avenir d'une tradition millénaire*. Europe-Tiers Monde-Etats-Unis. Ed. du Centre Georges Pompidou. Paris. France. 1981, 1982, 1984 et 1986. 224 p.
- De Villanueva 1827** : DE VILLANUEVA, J. – *El arte de la Albañilería*. Ed. en facsimile. Madrid. Espagne. 1827.
- Diez Anta 1993** : DIEZ ANTA, S. – *Los palomares en la provincia de León*. Caja España. Ed. Leonesas.S.A.. León. Espagne. 1993. 63 p.
- Doyon et Hubrecht 1942 et 1979**. DOYON, G., HUBRECHT, R. – *L'architecture rurale et bourgeoise en France*. Ed. D. Vincent et Cie. Paris. France. 1942 et 1979 (4^{ème} éd.). 521 p.
- Dreyfus 1954** : DREYFUS, J. – *Manuel de construction en terre stabilisée en Afrique Occidentale Française*. Documents d'A.O.F., série : Etudes n°1. Ed. Service d'Information du Haut-Commissariat. Paris. France. 1954. 84 p.
- Duby et Wallon 1979-1980** : DUBU, G. (dir.), WALLON, A. - *Histoire de la France Rurale*. 4 vol. Ed. du Seuil. Paris. France. 1979-1980.
- Dufournet 1950** : DUFOURNET, P. Une xpérience de construction en béton de terre stabilisé. In : Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, cahier 81. Paris. France. 2^{ème} trimestre 1950. pp. 7-23.
- Dumont 1973** : DUMONT, R. – *L'Utopie ou la mort*. Ed. du Seuil. Paris. France. 1973.
- Estienne et Liébaut 1564 et 1763** : ESTIENNE, Ch., LIEBAUT, J. – *La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne*. 2 vol. Paris. France. 1564 et 1763 (8^{ème} rééd.).
- Faust 1839** : FAUST, B.C. – *Der lehmsteinbau*. Buckeburg. Allemagne. 1839.
- Fauth 1948**: *Der praktische Lehmbau*. Singen-Hohentwiel. Weber. Allemagne. 1948.
- Fenton 1970** : FENTON, A. - *Clay building and clay thatch in Scotland*. Ulster Folklife, volume 15/16. 1970.
- Font Arrellano 2003** : FONT ARRELLANO, J. – *Manuscrit non titré, recherche sur le corpus des textes historiques*. Palencia. Espagne. 2003. 26 p.
- Font et Hidalgo 1991** : FONTON, F., HIDALGO, P. – *El tapial. Una técnica constructiva mi lenària (catalan)*. Edité à compte d'auteur. Barcelone. Espagne. 1991.
- Frasheri 1993**: FRASHERI, G. – *The use of earth as building material in Albania*. In Comunicações, 7a Conferência Internacional sobre O Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra. Silves. Portugal. Ed. De la D.G.E.M.N. du Portugal. Lisbonne. Portugal. 1993. 659 p., pp. 112-116.
- Frasheri 1994**: FRASHERI, G. – *Some aspects of Earthen Architecture and Technique in Albania*. In Méditerranée n° 8/9. Ed. Instituto Medciterrânico, Universidad Nova De Lisboa. Lisbonne. Portugal. 1996. 307 p., pp. 89-121.
- Fréal 1978**: FREAL, J. – *Habitat et vie paysanne en Bresse*. Publicatyions Jacques Fréal. Ed. Garnier Frères. 1978; 239 p.
- Fréal 1973**: FREAL, J. – *Maisons de Normandie*. Ed. Hachette. Paris. France. 1973. 1145 p.
- Gilly 1797** : GILLY, D. – *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn- undWirthschafts: Gebäuße für angehende Cameral: Baumeister*. Friedrich Vieweg dem älteren. Berlin. Allemagne. 1797.
- Goiffon 1772** : GOIFFON, G.C. – *L'art du maçon piseur*. Librairie Le Jai. Paris. France. 1772.
- Goldsmith 1994** : GOLDSMITH, E. – *Le Défi du XXIème siècle*. Ed. du Rocher. Paris. France. 1994.
- Graciani et Tabales 2003** : GRACIANI, A., TABALES, M.A. - *Typological observations on tapia walls in the area of Seville*. 11th – 19th centuries. In: Proceedings of the First International Congress on Construction History, 3 vol., Madrid, 20th – 24th January 2003. Ed. Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid. Espagne. 2003. Vol. II, pp. 1093-1106
- Guillaud 1997** : GUILLAUD, H. – *Pour une histoire des architectures de terre*. Mémoire de DPEA-Terre. EAG. Grenoble. France. 1997. 518 p.

- Guillaud 1997** : GUILLAUD, H. – Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes. François Cointeraux (1740 – 1830) Pionnier de la construction moderne en pisé. Ed. CRATerre-EAG. Grenoble. France. 1997. 47 p.
- Güntzel 1988** : GÜNTZEL, J.G. – *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland, Staufen*. Ökobuch Verlag. 1988.
- Hérodote 5^{ème} s.** : HERODOTE – *Histoires*. Ed. Les Belles Lettres. Paris. France. 1932.
- Illich 1969** : ILLICH, I. – *Libérer l'avenir*. Ed. du Seuil. Paris. France. 1969.
- Illich 1973** : ILLICH, I. – *Energie et équité*. Ed. du Seuil. Paris. France. 1973.
- Illich 1973** : ILLICH ; I. – *La convivialité*. Ed. du Seuil. Paris. France. 1973.
- Imbault 1986** : IMBAULT, D. – *La Champagne. Architecture régionale*. Ed. Jaher. Paris. France. 1986. 479 p.
- Keefe 1993** : KEEFE, L. – *The Cob building of Devon. Repair and Maintenance*. Devon Historic Buildings Trust. Devon. UK. 1993.
- Lauber 1998** : LAUBER, W. – *Architecture Dogon : Construction en terre au Mali*. Ed. Adam Biro. Paris. France. 1998.
- Le Corbusier 1942** : JEANNERET, E. (LE CORBUSIER) – *Les constructions « Murondins »*. Ed. E. Chiron. Paris. France. 1942. 38 p.
- Louboutin 1990** : LOUBOUTIN, C. – *Au Néolithique les premiers paysans du monde*. Ed. Gallimard (Découvertes). Paris. France. 1990. 176 p.
- Maas 1990** : MAAS, P. – Jenné : living tradition. In : *Aramco World* 41:6. 1990.
- Maas et Mommersteeg 1992** : MAAS, P., MOMMERSTEEG, G. – *Jenné, Chef d'oeuvre architectural*. Ed. Institut Des Sciences Humaines, Université vde Technologie et Institut Royal des Tropiques. Eindhoven et Amsterdam. Pays-Bas. 1992.
- Maas et Mommersteeg 1993** : MAAS, P., MOMMERSTEEG, G. – *L'architecture dite soudanaise: le modèle de Jenné*. In : *Vallée du Niger*. Ed. De la Réunion des Musées Nationaux. Paris. France. 1993.
- Mauss 1999 (rééd.)** : MAUSS, M. – *Essai sur le don*. In : *Sociologie et Anthropologie*. Quadrige. Presses Universitaires de France (PUF), 8^{ème} édition. Paris. France. 1999.
- McCann 1983-1995** : McCANN, J. – *Clay and cob buildings*. Shire Publications Ltd. Princes Risborough. UK. 1ç_ » et 1995 (rééd.). 32 p.
- Mencl 1980** : MENCL, V. – *Lidová architektura v Československu*. Academia Nakladatelství, Československé Akademie Ved. Prague. République Tchèque. 1980.
- Minke 2000** : MINKE, G. - *Earth Construction Handbook* (trad. version originale allemande en 1994). Ed. WIT Press. 2000. Southampton. Ashurst. 2000.
- Moldovan et Graur 1993** : MOLDOVAN, M-S., GRAUR, T. – Earth architecture in Romania. In *Comunicações, 7a Conferência Internacional sobre O Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra*. Silves. Portugal. Ed. De la D.G.E.M.N. du Portugal. Lisbonne. Portugal. 1993. 659 p., pp. 49-51.
- Oliver 1997** : OLIVER, P. – *Encyclopédie de l'architecture vernaculaire du monde*. 3 vol. Ed. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 1997. 2500 p.
- Onrubia et al 2003** : ONRUBIA, J., MALDONADO RAMOS, L., VELA COSSIO, F. – *Diccionario de construcción tradicional tierra*. Ed. Nerea ; San Sebastián. Espagne. 2003. 221 p.
- Ortiz Sanz et al 2001** : ORTIZ SANZ, J., REGO SANMARTÍN, T., CAÑAS GUERRERO, I. – *La casa de corral : emblema de las construcciones agrarias tradicionales en Castilla y León*. Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería. Madrid. Espagne. 2001. 222 p.
- Palladius 5^{ème} s. et 1976** : PALLADIUS - *Opus agriculturae*. Les Belles Lettres. Paris. France. 1976 (rééd.).
- Palmgren 2003** : PALMGREN, L.A. – *Svenska jordhus med lera eller kalk 1750-1950. Om olika svenska jordhusmetoder – när, varför och hur de uppfördes*. Ed. Kungliga Tekniska Högskolan (KTH). Royal Institute of Technology, School of Architecture/Building Engineering. Stockholm. Suède. 2003. 38 p.
- Pearson 1992** : PEARSON, G. – *Conservation of clay and chalk buildings*. Donhead. Londres. UK. 1992.
- Pereira Santos et Rocha 2000** : PEREIRA SANTOS, J., ROCHA, C.M. – *Casa tradicional Alentejana*. Escola Profissional de Desenvolvimento Rural de Serpa. Programa Pomoção Do Potencial De Desenvolvimento Regional (PPDR). Serpa. Portugal. 2000.82 p.
- Polanyi 1983** : POLANYI, K. – *La Grande Transformation ; aux origines politiques et économiques de notre temps*. Ed. Gallimard. Paris. France. 1983.
- Pollack et Richter 1952** : POLLACK, E., RICHTER, E. - *Technik des Lehmbaues*. Ed. Verlag Technik. Berlin. 1952.
- Ponga 1994** : PONGA, J.L.A. – *La arquitectura del barro*. Junta de Castilla et León. Consejería de Cultura y Turismo. Ed. Santiago García. León. Espagne. 1994 (3^{ème} ed.).
- Rauch 2001** : RAUCH, M. – *Lehm und Architektur*. Ed. Birkhäuser. Basel. Suisse. 2001. 159 p.
- Raulin 1977-1983** : RAULIN, H. – *L'architecture rurale française. Corpus des genres, des types et des variantes*. 22 vol. Ed. Berger-Levrault. Paris. France. 1977-1983.

- Raymond 1857** : RAYMOND, L. – *Mémoire sur la bâtisse en terre*. Imprimerie Elie Carrey. Genève. Suisse. 1857. 44 p.
- Risom 1959** : RISOM, S. – *Nordiske Ler-Jords-Huse, Rosenkilde of Bagger*. Copenhague. Danemark. 1959.
- Rozier 1796** : ROZIER (Abbé) – *Cours complet d'a griculture théorique et pratique*. Paris. France. 1796.
- Rondelet 1840** : RONDELET, J.B. – *Traité de l'Art de Bâtir*. Paris. France. 1840.
- Ruch 1977** : *La Maison alsacienne à colombage*. Ed. Berger-Levrault. Paris. France. 1977. 247 p.
- Salhins 1976**: SALHINS, M. – *Age de Pierre, âge d'abondance, l'économie des sociétés primitives*. Ed. Gallimard. Paris. France. 1976.
- Schmid 1985** : SCHMID, P. – *Climate-Habitat-Culture*. Report on the International Seminar at Eindhoven. University of Technology. Eindhoven. Pays-Bas. 1985.
- Schneider 1985** : SCHNEIDER, J. – *Am Anfang Die Erde Sanfter Baustoff Lehm*. Ed. Fricke im Rudolf Müller Verlag. Francfort. Allemagne. 1985. 84 p.
- Schumacher 1978**: SCHUMACHER, E.F. – *Small is Beautiful; une société à la mesure de l'homme*. Ed. Contretemps/Seuil. Paris. France. 1978. 318 p.
- Seidelin 1796** : SEIDELIN, K.H. b- *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux Beskeivelse og i abskilligt forandret*. Copenhague. Danemark. 1796.
- Sanna 1993** : SANNA, A. (a cura di) – *Architetture in terra, tipologia, tecnologia, progetto*. Ed. CUEC. Cagliari. Italie. 1993. 175 p.
- Sorre 1943** : SORRE, M. - *Les fondements biologiques de la géographie humaine*. Editions Armand Colin. Paris. France. 1943. 261 p. (Vol. 1) et 230 p. (Vol. 2).
- Syrova 1991** : SYROVA-ANYZOVA, Z. – *Monographie Tchecoslovaquie. Architectures en terre*. In : Bulletin d'Information du CRATerre-EAG, n°9, 2^{ème} semestre 1991. Grenoble. France. 1991. 27 p. pp. 14-17.
- Syrova et Syrovi 1994** : SYROVA-ANYZOVA, Z., SYROVI, J. – *La sauvegarde du patrimoine de la maison danubienne dans les villages des pays tchèques. Prikazy, Village du District de Olomouc*. In. Bulletin d'Information du CRATerre-EAG n°14. 1994. 31 p. pp. 22-24.
- Teysot 1981** : TEYSOT, G. – *L'architecture en pisé, [la vie et l'œuvre de l'architecte François Cointeraux (Lyon 1740-1830) qui fut, en France, l'inventeur du « nouveau pisé »]*. In *Monuments Historiques*, n° 116. Ed. Caisse Nationale des Monuments Historiques. Paris. France. 1981. pp. 32-35.
- Theus 1956** : THEUS, P. – *La fondation d'un village de Provence au 18^{ème} siècle : Charleval, 1741*. Ed. La Pensée Universitaire. Aix-en-Provence. France. 1956. 280 p.
- Turner 1980** : TURNER, J. – *Le logement est votre affaire*. Ed. du Seuil. Paris. France. 1979 ; 99 p.
- Varron 1^{er} s. av. n.è.** : VARRON – *Res Rusticae*.
- Vidal de la Blache 1922** : VIDAL DE LA BLACHE, P. - *Principes de la géographie humaine*. Editions Armand Colin. Paris. France. 1922. Réédition en 1948.
- Vitruve (trad. Perrault, C. 1674) 1^{er} s. et 1979** : VITRUVÉ – *De Architectura. Abrégé des dix livres d'architecture*. Editions J.B. Coignard. Paris. France. 1674. 226 p. Réédition chez Mardaga. Liège. Belgique. 1979. Egalement chez Balland. Paris. France. 1979.
- Walker et al. 1996**: WALKER, B., MacGregor, C., LITTLE, R. – *Earth structures and construction in Scotland. Historic Scotland Technical Advice Notes, n°6*. Edimbourg. UK. 1996. 128 p.
- William-Ellis 1919** : WILLIAM-ELLIS, C. - *Cottage buildings in cob, pisé, chalk and clay*. Editions Country Life. Angleterre. 1919.
- William-Ellis et Eastwick-Field 1947** : WILLIAM-ELLIS, C., EASTWICK-FIELD, J., - *Cottage Building in Cob, Pisé, Chalk and Clay*. Editions Country Life. Angleterre. 1947.
- Wimpf 1841**: WIMPF, J. – *Der Pisé-Bau*. Heilbrann. Allemagne. 1841. 60 p.
- Volhard 1983** : VOLHARD, F. - *Leichtlehmbau, alter Baustoffneue Technik*. Ed. Verlag C.F. Müller. Karlsruhe. Allemagne. 1983.
- Zschokke 1849** : *Anleitung zum Pisé-Bau, Mit Spezieller Rüdricht auf bas Berfahren bei den Bauten im Kanton Aargau*. Gauerländer Verlags. Haran. Suisse. 1849. *Bâtir en Pisé*. Trad. Française de Werner Heerde, EPFL de Lausanne. Suisse. 1983.

La terminologie des matériaux, des modes d'utilisation et des techniques de construction en terre et leur mise en situation historique

(Article extrait de **Guillaud 1997** : GUILLAUD, Hubert - *Pour une histoire des architectures de terre*, mémoire de CEEA-Terre, Ecole d'Architecture de Grenoble, juin 1997, 518 p.)

N.B. : on a conservé la numérotation des indices de notes de bas de page, telle que dans le document initial.

Introduction : la nécessité de la rigueur terminologique

L'évolution qualitative des architectures de terre dans le monde, depuis les époques protohistoriques, se traduit par une amélioration des performances constructives et par une "massification" des structures que permet la maîtrise des modes d'utilisation du matériau terre et des techniques de construction. Cette transformation est directement associée à un processus de sédentarisation des hommes et à un degré de plus en plus évolué de l'organisation des sociétés qui produisent les matériaux de construction de façon organisée, mais aussi à l'acquisition progressive de savoir-faire élaborés autorisant la construction d'établissements de plus en plus complexes en passant du campement semi-sédentaire à la structure du hameau puis à celle du village sédentaire pour enfin aboutir à celle de la ville. Cette "révolution urbaine" qui traduit simultanément une étape décisive de l'évolution des cultures constructives en terre est située au Néolithique Moyen, en Mésopotamie, entre 4000 et 3500 av. J.C. Au cours de cette lente évolution se déroule une séquence de progression qualitative des modes de mise en œuvre du matériau qui, *grosso modo*, fait se suivre : 1. la structure bois à clayonnage de brindilles et végétaux, tapissée puis hourdée d'argile - ou "torchis" - , 2. le modelage d'habitats à parois minces de terre argileuse amendée de produits végétaux et autres composants d'origine naturelle, végétale ou organique, jouant un rôle de stabilisant - ou "façonnage direct" - , 3. la maçonnerie monolithique en couches épaisses de terre argileuse amendée de végétaux ou de cailloux et éclats de pierres - ou "bauge" - , 4. la maçonnerie en briques de terre crue mêlée d'herbes ou de paille des céréales cultivées, d'abord façonnées à la main en forme de "pains de terre", puis moulées dans des formes en bois et bâties au mortier de bitume puis de terre argileuse - ou "adobe" - 5. la maçonnerie monolithique en couches de terre compactée en coffrages - ou "pisé" - 6. pour aboutir aux époques modernes et contemporaines à la techniques du bloc de terre comprimée. Bien sûr, ce processus d'évolution technique s'effectue différemment et plus ou moins rapidement, dans un ordre séquentiel qui peut nier une ou l'autre des étapes d'évolution ou encore s'arrêter à l'une ou à l'autre d'entre elles, selon les régions du globe. La cohabitation des techniques peut perdurer comme l'une d'entre elles peut s'affirmer et caractériser la culture constructive en telle ou telle situation. Nous reviendrons inévitablement, au cours du développement de cette recherche, sur ces différentes techniques et cultures constructives en terre, sur leur dénomination et leur description, sur leurs nombreuses variantes. Mais, la précision sémantique s'impose car la terminologie des différents matériaux de construction en terre, des modes de mise en œuvre et des techniques de construction, est restée confuse, pendant longtemps, donnant lieu à des interprétations erronées du matériau visible sur les sites fouillés.

De façon symptomatique, on repère en effet assez souvent cette confusion sémantique dans la littérature archéologique, anthropologique et architecturale publiée depuis la fin du XIX^{ème} siècle mais également au cours de ce XX^{ème} siècle. Pourtant, cette confusion ne semble pas avoir existé aux temps anciens comme peuvent en témoigner de nombreux textes des époques bibliques puis gréco-romaines qui donnent divers témoignages de la construction en briques crues ou même en pisé. Cette clarté d'énonciation peut logiquement être expliquée par le fait que les chroniqueurs de ces époques décrivaient les modes de mises en œuvre et les techniques de construction, *de visu*.. Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, cette confusion sémantique se traduit notamment par un emploi fréquent du terme "pisé" qui semble être employé pour décrire tous types confondus de vestiges ou de murs ruinés en terre alors que souvent, cette dénomination ne correspond pas à la réalité de cette mise en œuvre du matériau terre par compactage et en coffrages qui caractérise justement le pisé, c'est à dire davantage un procédé de mise en œuvre du matériau terre que le matériau de construction lui-même. La confusion semble surtout résulter d'une assimilation des murs en "bauge" à de la maçonnerie en briques crues que le temps et l'usure ont rendues compactes et homogènes, avec une distinction difficile à établir entre les couches ou "levées" de terre et entre les briques crues et le mortier de pose. Ainsi, beaucoup de vestiges des villes anciennes bâties en terre et mises au jour de par le monde depuis un peu plus d'un siècle, sont demeurés confusément décrits quant à l'aspect de leurs matériaux de construction en terre. Certes, l'identification du matériau de construction et de la technique de construction n'est pas toujours aisée et le matériel visible révélé par les fouilles doit parfois faire l'objet

d'analyses scientifiques poussées (stratigraphie, granulométrie, minéralogie, par exemple) pour garantir une dénomination précise. L'éventail des matériaux et des techniques est en effet assez large et leur caractérisation définit une association complexe de la nature granulaire du matériau originel ou "texture" (terre argileuse ou terre limoneuse, terre sableuse ...), de l'état hydrique à la mise en œuvre (état boueux, plastique, humide ou sec, ...), du degré d'élaboration des constructions, de leur structure, de leur architecture, leurs dimensions, leur destination d'usage, de la qualité de leurs finitions (problème de la distinction entre les enduits et le mur, par exemple). Ce n'est que récemment que des tentatives ont été faites pour clarifier cette terminologie des matériaux et des techniques de construction en terre et nous pensons ici à l'excellent "Dictionnaire Illustré Multilingue de l'Architecture du Proche-Orient Ancien"²²⁸ de l'Institut Français d'Archéologie de Beyrouth, édité en 1977, même si d'autres dictionnaires avaient déjà proposé antérieurement une description, peut-être plus qu'une définition, des matériaux et des techniques repérés sur les sites archéologiques²²⁹. Mais le dictionnaire édité sous la direction de Olivier Aurenche, bien qu'il propose une définition très claire de la brique de terre crue, reste encore trop large en ce qui concerne le pisé et le torchis, particulièrement pour le pisé auquel il accorde un "sens large" qui réunit tous les principaux matériaux de construction en terre. On notera par ailleurs qu'aucune mention n'est faite de la bauge, alors que les sites néolithiques du Proche-Orient peuvent attester de l'existence de ce type de matériau, vraisemblablement assimilé à un torchis ou à un pisé dans cette acceptation la plus large. Finalement, cette confusion sémantique a été reconnue par le milieu de la recherche et a été débattue mais cette clarification ne s'est véritablement opérée qu'au début des années 80, à l'occasion de certains congrès scientifiques interdisciplinaires, réunissant archéologues, ethnologues et architectes qui ont inauguré leurs travaux en proposant une

²²⁸ Aurenche, Olivier (sous la direction de), Callot, Olivier (dessins), "Dictionnaire Illustré Multilingue de l'Architecture du Proche-Orient Ancien", Institut français d'Archéologie de Beyrouth (Liban), publication hors série, Collection de la Maison de l'Orient Méditerranéen Ancien n° 3, Série Archéologique 2, éditions de la Maison de l'Orient, Lyon, 1977, 391 p. Citons les définitions proposées par ce dictionnaire pour la brique crue, le pisé et le torchis, qui entretiennent encore des confusions malgré la volonté évidente des auteurs de nuancer et bien référencer leur propos.

p. 40-42, "BRIQUE (f.) Élément de construction en *terre à bâtir préalablement modelé ou moulé. Arch. Dans la technologie antique on distingue deux catégories de briques : les briques "cruées", c'est-à-dire séchées à l'air et au soleil, et les briques "cuites" dans un four. Les matériaux de base, dont la composition varie peu, restent les mêmes dans les deux cas : terre, eau et *dégraissant, le plus souvent végétal. D'après Canaan, 1933,30 on n'emploie pas de sable dans la composition des briques ; Wulff, 1966,115 note cependant sa présence dans les briques cuites. Un deuxième critère permet de distinguer d'un autre point de vue, les briques moulées et les briques non moulées ou modelées. A) *Les briques crues*. 1) *Les briques modelées*. Ce sont, semble-t-il, les plus anciennes (cf. des sites comme Jéricho, Siyalk). Elles représentent une variante de la construction en *pisé (voir ce mot) : au lieu de "monter" les murs en lits successifs de mortier frais, avec ou sans l'aide de banches, on prépare d'avance les mottes de terre que l'on modèle à la main et qu'on laisse durcir par séchage avant l'emploi (alld. *Lehmpatzen*, angl. *lump*, persan, *Kolukh*). Elles prennent des formes diverses allant du cylindre vaguement aplati (cigare) au parallélépipède plus ou moins régulier. Leur aspect donne lieu à des formules imagées : *bun-shaped*, "en forme de petit pain" (cf. Perrot, 1968, col. 415), *hog-baked*, "en dos d'âne" (Perrot, 1968, col. 385; Mellaart, 1965, 32, à propos des briques de Jéricho). Les archéologues français parlent de "pain de terre crue" (Perrot 1968, col. 385), de "boules d'argile" (Contenson et Van Liere, 1964, 111 et 1966, 169). 2) *Les briques moulées*. L'étape technologique suivante appelle l'usage du *moule (alld. *Form*, angl. *mould*, ar. *qalib*, persan, *qaleb*). La méthode est décrite notamment par Thoumin, 1935, 10-11; Fathy, 1969, 118-120 et Appendix 1, p. 251-256; 1970, 152-154; Wulff, 1966, 109-111 et 115; Canaan, 1933, 30. Dans les deux cas, la brique "prend" par simple séchage à l'air et au soleil; cet aspect apparaît dans certaines expressions anglaises ou allemandes : *sun-dried bricks*, *luftgetrockneter Lehmziegel* (Lenzen, 1960, 129), *Luftziegel* (Salonen, 1972, 12 et 34). Pour faciliter l'adhérence lors de la pose on imprime parfois, avant le séchage, des trous alignés ou des lignes diagonales sur une des faces de la brique (cf. Fathy, 1979, 36). Ce travail se fait à la main, d'où les expressions comme *thumb-impressed bricks* (briques à empreinte de pouce). Cette pratique est connue dès la plus haute antiquité (cf. *Dict. archéol. des techniques*, I, 169). Il faut noter cependant que dans la plupart des cas, les expressions simples telles que l'angl. *mudbrick* ou l'alld. *Lehmziegel* désignent des briques crues moulées (l'alld. *Rohziegel*, proposé par Oelmann, 1927 ne s'est pas répandu). La taille des briques crues est très variable; cf. pour un ordre de grandeur, Wulff, 1966, 110; Thoumin, 1935, 30; et pour l'antiquité, *Dict. archéol. des techniques*, I, 69 et 71; Moorey, 1964, 95-6; Naumann, 1971, 48-49. Dans le cas des briques moulées, la taille et le moule (brique, demi-brique, quart de brique) dépendent du *moule."

pp. 138-139, "PISÉ (m.) (1) Matériaux : désigne toute *terre à bâtir à *dégraissant. (2) Mode de construction : *terre à bâtir à *dégraissant, tassée dans des *banches. La variété d'emploi dans l'usage oblige à distinguer deux ordres de sens : les matériaux et le procédés de construction. Au sens strict on ne devrait donner le nom de *pisé qu'aux constructions dont les murs sont montés au moyen de *banches entre lesquelles la terre à bâtir est comprimée par tassement (c'est le sens propre du verbe *piser*, connu de Littré et repris par Larousse) ou simple piétinement (Thoumin, 1935, 9); Braidwood et Howe, 1960, 40, qui cherchaient un équivalent à l'ar. *tauf* ont déjà fait cette remarque. Mais étant donné que dans toute terre à bâtir le mélange de terre, d'eau et de *dégraissant est, au moment de la préparation, piétiné (alld. *stampfen*, *kneten*) pour assurer sa cohésion, comme le pisé est piétiné dans les banches lors de la construction des murs eux-mêmes, une confusion a pu se produire dans l'esprit des observateurs (cf. la distinction de Christensen, 1967, 91 entre *Stampflehm* - procédé de fabrication - et *Lehmmörtel* - matériaux -). Le mot pisé a donc tendance à désigner, de façon générale, toute terre à bâtir à dégraissant. Mais le français possède un autre mot pour ce même matériau : c'est le mot *torchis, qui fait allusion à une autre opération nécessaire pendant la préparation ; elle consiste à tordre la paille pour la couper avant de l'incorporer au mélange, afin de la rendre plus assimilable. L'inconvénient est que le mot ne convient qu'à une terre à *dégraissant végétal ... Ainsi, pour rendre compte de cette diversité dans l'usage et tenter de clarifier la notion, on adoptera le parti suivant : Au sens large (sens 1), une construction en pisé sera plus ou moins synonyme d'une construction en *terre à bâtir, étant bien entendu que toute terre à bâtir réclame un dégraissant. Dans ce premier sens on ne préjuge ni du type de dégraissant (végétal, minéral, animal), ni du mode de construction : *mottes moulées à la main avec ou sans banches, *briques crues (qui au premier abord peuvent ne pas se laisser reconnaître, si elles sont recouvertes d'un enduit) etc... Au sens étroit (sens 2) une construction en pisé désignera une construction en terre à bâtir, dont les murs ont été montés à l'aide de *banches. Cf. *terre à bâtir."

pp. 170 "TORCHIS (m.) Matériau fait de *terre à bâtir à *dégraissant végétal. Le dégraissant employé est le plus souvent de la *paille *hachée parfois mêlée de *balle. Le torchis est monté en *mottes, tassé dans des *banches, ou façonné en *briques. Sous une forme liquide, il sert d'*enduit."

²²⁹ Dictionnaire archéologique des techniques, éditions de l'Accueil, Paris, 1963 et 1964, deux volumes.

mise au point sur la terminologie des matériaux et des techniques de construction en terre ²³⁰. Néanmoins, il nous semble encore indispensable de poser les définitions de cette terminologie des matériaux et des techniques de construction en terre, comme préalable méthodologique à cette recherche visant à poser les repères d'une histoire des cultures constructives en terre dans le monde qui n'aura cessé de s'y référer dans la description des sites et édifices constituant le corpus des architectures de référence.

Quel matériau pour construire en terre crue ?

Dans cette recherche, nous ne parlons que de construction en terre "crue". Ce matériau doit être clairement distingué de la terre "cuite", même si depuis des temps déjà très anciens, les deux matériaux furent utilisés, séparément ou parfois intimement associés dans la construction des ouvrages. Ce fut par exemple le cas pour la civilisation de l'Indus (2500 - 1800 av. J.C.), avec les célèbres villes de Mohenjo-Daro et de Harappa ou encore en Mésopotamie sur de nombreux sites tel celui de Tchoga Zanbil, en Iran, région de Susiane, dont la fondation est située entre 1275 et 1240 av. J.C. Sur ces sites, le "cuit" vient en parement du "cru". Ce sont bien deux matériaux différents, non par leur origine - car ils sont tous deux faits à partir de terre argileuse - mais par leur nature, leur composition et surtout par leur processus de fabrication. Les techniques traditionnelles d'extraction du matériau brut, pour le cuit et le cru, sont identiques. Dans les deux cas il est prélevé dans l'épaisseur du sol superficiel dans des couches d'épaisseur variable et généralement assez homogènes quant à la composition granulaire et minéralogique du matériau. Mais la terre destinée à être cuite est fondamentalement composée d'argile sableuse riche en composants minéralogiques silico-alumineux que la cuisson transformera, induisant alors, par le feu, une stabilisation irréversible. La terre "crue", par contre, est un matériau composite, un mélange naturel d'agrégats lui conférant une composition granulaire étendue depuis les fractions de grains très fins, les argiles puis les limons (ou silts), se prolongeant par des fractions de grains plus grossiers, les sables fins puis les gros sables et enfin les graviers, acceptant également les petits cailloux dans les plus gros diamètres. Même si beaucoup de terres peuvent être utilisées en construction, elles seront toujours distinctes selon leur emploi pour l'édification d'ouvrages en "cuit" ou en "cru". Cette diversité des terres utiles à la construction résulte de nombreux facteurs tels que la situation et la nature des lieux où elles sont prélevées, la structure de la roche mère sous-jacente à partir de laquelle le matériau a évolué au cours du processus de pédogenèse aboutissant à la création d'un sol, le climat (pluviométrie, ensoleillement, température, etc.), l'hydrologie des cours d'eaux transportant les matériaux et les transformant, le type de biotope local (flore et faune) induisant des processus d'évolution biologique du matériau, le degré de transformation des sols par l'activité humaine (agriculture et travaux publics).

La terre qui sera utilisée pour bâtir en "cru" est toujours prélevée sous la couche de terre arable réservée à l'agriculture ou aux travaux d'aménagement du paysage. Cette couche de terre superficielle est en effet trop riche en composants colloïdaux et en matières organiques qui constituent l'humus et qui lui confèrent une nature instable, impropre à un usage en construction. C'est donc plus profondément, à hauteur d'un horizon de sol dit "d'altération" ou "éluvial" (horizon A2), qui succède à l'horizon de surface, qu'est prélevée la terre pour bâtir en "cru", riche en composants graveleux, sableux, silteux et argileux. Cette profondeur varie selon l'épaisseur de la couche superficielle humifère et organique. Mais chaque terre, selon sa situation géographique et climatique, est différente, et son potentiel d'utilisation constructive variera selon la nature du mélange naturel de ses composants granulaires et de structure qui dépend de l'évolution pédogénétique. La terre pour bâtir en "cru" est fondamentalement caractérisée par sa composition granulaire définie par la nature et la quantité des agrégats qui la composent, par sa plasticité qui définit son aptitude à être modelée, par sa compressibilité qui définit la possibilité de réduire sa porosité en la densifiant par compactage et enfin

²³⁰ Ce souci de clarification de la terminologie des matériaux et des techniques de construction en terre était très présent dans le milieu de la recherche archéologique française au début des années quatre vingt. Des rencontres et des travaux ou communications publiés en rendent compte. Par exemple, les débats qui ont eu cours à l'occasion d'un séminaire-rencontre archéologique organisé sur le thème de la construction en terre crue, par P.- A. Février et C. Goudineau, à l'université d'Aix-en-Provence, le 27 mars 1982. Puis, le 2ème Congrès archéologique de Gaule méridionale auquel nous avons assisté, qui s'est tenu à Lyon du 2 au 6 novembre 1983 et qui ouvrait ses travaux par une communication centrée sur la terminologie des matériaux et des techniques de construction en terre se référant principalement à des ouvrages récents dont "Construire en terre" du CRA Terre, op. cit. On peut d'ailleurs s'étonner que les actes de ce congrès, "Documents d'Archéologie Française n°2", "Architectures de terre et de bois", éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1985, 191 p., ne rendent qu'à peine compte de ce débat sémantique introductif (1 page). Mais encore une confrontation entre archéologues orientalistes et métropolitains et ethnologues autour d'une table ronde sur "l'approche ethno-archéologique de l'habitat en terre crue", organisée à Martigues autour de l'exposition "Le quartier de l'Île à Martigues, six années de recherches archéologiques", le 1er mars 1985. Ce souci de clarification de la terminologie est patent dans un article scientifique publié dans la Revue Aquitania, Tome 3, pp. 149-160, en 1985, signé de Mme Claire-Anne de Chazelles, archéologue et de Mr. Pierre Poupet, ingénieur-géologue, intitulé "La fouille des structures de terre crue : définitions et difficultés", qui centre son propos sur "les techniques constructives" et sur les problèmes liés à l'identification des structures de terre crue et de bois". Nous avons d'ailleurs eu des échanges par la suite avec Mme de Chazelles sur cette question car des travaux d'identification des matériaux sur le site de Empurias (Ampurias) posaient quelques difficultés et je lui avais proposé un système de lecture devant associer plusieurs niveaux d'analyse entre le matériel visible et les données des analyses de laboratoire du matériau, notamment en ce qui concerne les analyses de granulométrie et de plasticité.

par sa cohésion qui traduit les propriétés des agrégats à être liés entre eux. Ces "texture", "plasticité", "compressibilité" et "cohésion", sont les quatre propriétés fondamentales qui définissent la possibilité d'une terre à être utilisée pour bâtir des ouvrages.

La science contemporaine de la construction en terre a récemment comparé la terre utilisée pour bâtir en "cru" à un "béton maigre". De fait, on peut faire une analogie entre le matériau utilisé pour la construction en terre crue et le béton. Les deux matériaux contiennent du gravier et du sable qui, considérés isolément, ne présentent aucune cohésion et ne peuvent être utilisés tels quels en construction, sauf s'ils sont liés par un autre composant naturel ou artificiel. Dans le béton, c'est le ciment qui joue ce rôle de liant alors que dans la terre crue, c'est l'argile. Mais celle-ci est très instable et connaît des variations de volume en présence d'eau qui la soumette à un processus de gonflement suivi d'un retrait au séchage. Trop d'argile peut nuire à la stabilité du matériau terre crue et produire d'importants désordres dont le plus courant est la fissuration. Les propriétés cohésives de l'argile sont telles qu'il suffit d'une petite quantité pour garantir la cohésion du "béton maigre de terre". Ainsi, *grosso modo*, il suffira d'une proportion de 15 à 25 % d'argile dans le matériau, alors qu'il faudra au moins 45 % de sables fins et grossiers et une part suffisante de petits graviers pour donner à la terre crue une bonne cohésion et une bonne structure, une bonne résistance mécanique. La terre essentiellement argileuse destinée à être cuite n'offre qu'une cohésion temporaire en absence d'eau et se liquéfie en sa présence. Seule la chaleur de la cuisson par le feu, à relativement haute température, peut la stabiliser et autoriser son emploi en construction traditionnellement sous forme de briques cuites.

La diversité des modes d'utilisation de la terre crue ²³¹

L'éventail du potentiel technique et des applications constructives et architecturales de la terre crue est très large. Les recherches archéologiques et les études des patrimoines architecturaux traditionnels bâtis en terre dans le monde ont permis d'identifier une douzaine de familles de modes d'utilisation différents du matériau déclinant eux-mêmes de nombreuses variantes régionales ou locales. Depuis l'Antiquité, ce large potentiel d'utilisation constructive du matériau a permis de réaliser des abris modestes, des maisons de hameaux et de villages, des immeubles et des édifices publics en milieu urbain, des palais, des édifices religieux, temples et églises, tout comme des villes entières. A ce registre de réalisations architecturales et urbaines dont peuvent témoigner toutes les grandes civilisations du monde, l'histoire moderne, depuis la fin du XIX^{ème} siècle ajoute des ensembles de caractère industriel ou à vocation d'usage commercial. Le patrimoine architectural construit en terre représente en effet une part très importante de l'ensemble du patrimoine culturel mondial qui ne retenait pourtant qu'une faible attention des milieux professionnels chargés de sa protection et conservation jusqu'au milieu des années soixante et dix de ce XX^{ème} siècle²³². Et pourtant, cette diversité

²³¹ Cette mise au point fait référence à des articles scientifiques et techniques que nous avons précédemment publiés. In : Guillaud, Hubert, "Techniques anciennes et modernes", article, pp. 33-48, in Dethier, Jean, "Architecture de Terre ou l'avenir d'une tradition millénaire", réédition du catalogue de l'exposition du Centre Georges Pompidou, Paris, 1986, op. cit. In : Houben, Hugo et Guillaud, Hubert, "Traité de Construction en Terre", éditions Parenthèses, Marseille, mai 1989, op. cit., Chapitre 101, "Diversité", pp. 13-15, Chapitre 502, "Modes d'utilisation", pp. 114-115, Chapitre 801, "Modes d'utilisation de la terre", pp. 161-188. In : CRATerre-EAG, Guillaud, Hubert, in "La terre crue : des matériaux, des techniques et des savoir-faire au service de nouvelles applications architecturales", remise à jour n° 46 de l'Encyclopédie du Bâtiment, éditions Techniques-éditions Eyrolles, Paris, 1990, cahiers techniques 2135, 16 p., 2135-1, 16 p., 2135-2, 16 p. et 2135-3, 18 p.

²³² On peut en effet rappeler ici les grandes étapes institutionnelles qui ont progressivement confirmé une mobilisation internationale sur la question spécifique de la conservation des patrimoines architecturaux construits en terre. L'initiative doit être créditée au Comité Iranien de l'ICOMOS (Comité International des Monuments et des Sites) qui organisait la "Première Conférence Internationale pour la Conservation des Monuments de Brique Crue", à Yazd, Iran, du 25 au 30 novembre 1972. Ce même pays et cette même ville accueillait ensuite la "Deuxième Conférence Internationale pour la Conservation des Monuments de Brique Crue", du 6 au 11 mars 1976, toujours sous l'égide de l'ICOMOS. Venaient ensuite les "Rencontres sur la préservation de l'Adobe", organisées par le Comité Nord Américain de l'ICOMOS et l'ICCROM (Centre International pour l'Étude de la Conservation et Restauration des Biens Culturels), à Santa Fe, Nouveau Mexique, États-Unis, du 3 au 7 octobre 1977. Une "Troisième Conférence pour la Préservation de la Brique Crue (Adobe)" étaient réalisées à l'initiative conjointe des Comités de l'ICOMOS et de l'ICOM de la Turquie et de l'ICCROM, à Ankara, du 29 septembre au 4 octobre 1980. Puis une "Conférence Internationale et un Atelier de Formation pour la Conservation de l'Adobe", conjointement organisés par l'ICCROM et le "Projet sur le Patrimoine Culturel Régional" de l'UNDP (Plan des Nations Unies pour le Développement) et de l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture), à Lima, Cusco et Trujillo, Pérou, du 10 au 22 septembre 1983. L'ICCROM et le CRATerre (Centre International pour la Construction en Terre de l'École d'Architecture de Grenoble, France), prenaient l'initiative d'organiser une "Cinquième Rencontre Internationale des Experts en Conservation d'Architecture de Terre", à Rome, Italie, les 22 et 23 octobre 1987. Cette cinquième réunion marque une étape décisive sur les orientations données en matière de recherche et de formation puisqu'elle sera à l'origine de la mise en place d'un projet cadre institutionnel sur "la Préservation des Patrimoines Architecturaux en Terre", le Projet GAIA, conjointement fondé par l'ICCROM et le CRATerre, en 1989. Ce projet prendra l'initiative d'organiser, conjointement avec le Comité Nord Américain de l'ICOMOS, l'Institut Getty pour la Conservation, le Musée des Monuments de l'État du Nouveau Mexique et le Service du Parc National de la Région sud-ouest, la "Sixième Conférence Internationale pour la Conservation de l'Architecture de Terre", "Adobe 90", à Las Cruces, Nouveau Mexique, États-Unis, du 14 au 19 octobre 1990. Puis, le Projet GAIA, conjointement avec la Direction Générale des Bâtiments et Monuments Nationaux (DGEMN) du Portugal, la Mairie de Silves et le Comité International de l'ICOMOS sur l'Architecture de Terre, organisaient la "Septième Conférence Internationale pour l'Étude et la Conservation de l'Architecture de Terre", à Silves, Portugal, du 24 au 29 octobre 1993. Ce sont là 25 années décisives, en cette fin de XX^{ème} siècle qui témoignent d'un effort et d'un engagement des institutions gouvernementales et non-gouvernementales en faveur du développement d'activités spécifiques de recherche, de formation professionnelle, de coopération technique et de

comme cette importance quantitative et qualitative des architectures de terre dans le monde n'ont rien à envier à celles qu'autorise l'emploi d'autres matériaux traditionnels, pierre, bois ou briques cuites, car la terre crue est sans doute l'un de ces matériaux traditionnels qui a offert le plus grand éventail de réalisations constructives et architecturales, en application de ces douze familles de modes d'utilisation du matériau et de leurs variantes que nous présentons par la suite. La contribution que nous apportons ici ajoute à un propos essentiellement technique qui a été offert jusqu'à présent par la littérature contemporaine sur la construction en terre que l'on a référencé, en situant la description de ces principales familles de mise en œuvre du matériau dans une perspective d'évocation de nature historique.

Une douzaine de modes d'utilisation du matériau terre brièvement situés dans l'histoire

La littérature technique et scientifique retient douze principaux modes d'utilisation associés à trois grandes familles de solutions constructives où la terre est soit associée à la réalisation préalable d'une structure portante ou porteuse, soit utilisée sous forme de construction monolithique et massive, soit enfin sous forme de maçonnerie en petits éléments. A chacun de ces modes de mise en œuvre de la terre crue et à chacune de ces familles de solutions constructives correspondent des familles d'architecture.

La terre creusée : architecture troglodytique

Les habitats sont creusés dans le sol. Ce sont généralement des sols tendres du type tuf, loess (matériau d'apport éolien accumulé) ou lave poreuse et le plus souvent établis sous des climats chauds et secs. Il s'agit principalement d'un habitat troglodytique, creusé soit horizontalement (nombreux exemples dans les pays méditerranéens d'Europe, Espagne, Italie, Turquie), soit verticalement (Matmata en Tunisie, Habitat dans la ceinture de loess en Chine)²³³, dont les formes originelles remontent à des temps très anciens alors que l'homme, vivant à des époques de grande insécurité, vivait dans l'épaisseur du sol avant d'élever progressivement son habitat en surface. En Chine, l'origine de ce type d'habitat est située aux époques néolithiques, entre le V^{ème} et le IV^{ème} millénaires avant notre ère, avec des exemples de "maisons poches" établies sur les plateaux loessiques du Nord et du Nord-Ouest dominant les bassins du Gansu et du Huang (Fleuve Jaune).

La terre couvrante : architecture enterrée et à toitures plates

La terre recouvre une structure construite à l'aide d'autres matériaux, le bois étant le plus souvent employé. L'habitat recouvert de terre répond à des impératifs de sécurité mais aussi de confort climatique. Là encore, des exemples nous parvenant de Chine attestent de son origine très lointaine, comme sur le fameux site de Banpo situé dans le haut bassin du Huang aux époques de la Culture Yangshao qui se développe entre le V^{ème} et le II^{ème} millénaires avant notre ère. L'utilisation de la terre couvrante se généralisera par la suite comme grand principe de culture constructive en terre crue associé à la réalisation des toitures des édifices. Par exemple, ce principe sera largement développé pour la construction des édifices des premières villes mésopotamiennes à dater du IV^{ème} millénaire av. J.C. Les cultures constructives de maintes régions du monde témoignent encore de ce procédé d'utilisation de la terre couvrante en toiture comme sur la majorité des habitats africains de la région soudano-sahélienne centrale et occidentale (Tchad, Niger, Nord du Nigeria, Bénin, Burkina Faso, Mali, etc.). De même, ces pratiques de la terre couvrante furent utilisées dans la majorité des cultures constructives des peuples natifs d'Amérique du Nord, avec la fameuse tradition des cités "Mound" de Floride et du Mississippi dont les développements sont situés entre le V^{ème} siècle av. J.C. et le XVI^{ème} siècle ap. J.C. (la fameuse "Ucita" découverte par l'explorateur espagnol Hernando de Soto, en mai 1539), ou encore les villages des *Mandan* du Nord Dakota, des *Pawnee* du Nebraska, les *hogans* des *Navajo* du Nouveau Mexique et d'Arizona²³⁴. L'architecture contemporaine des États-Unis d'Amérique a remis en actualité ce principe constructif, dans les années 70, notamment pour la réalisation d'habitats "bioclimatiques" enterrés, les "Earth sheltered houses" ou en France, pour la réalisation d'édifices à toitures en béton armé recouvertes de terre engazonnées. L'un des plus fameux exemples

documentation, en faveur de la définition d'une politique et de stratégies propres à la conservation des patrimoines architecturaux construits en terre dans le monde.

²³³ Deux principaux ouvrages rendent compte de cet habitat troglodytique creusé dans l'épaisseur du loess, en Chine, qui fonderont les références de notre recherche sur l'histoire dans ce vaste pays : Dunzhen, Liu, "La Maison Chinoise", Collection Architectures, éditions Berger Levrault, Paris, 1980, 234 p. (édition originale, Pékin, 1957) et Loubes, Jean-Paul, Clément, Pierre (préface), "Maisons Creusées du Fleuve Jaune, l'architecture troglodytique en Chine", éditions Créaphis, Paris, 1988, 141 p.

²³⁴ Voir l'ouvrage de Nabokov, Peter et de Easton, Robert, "Native American Architecture", éditions Oxford University Press, New York, 1989, 431 p.

contemporains de cette architecture paysagère enterrée nous est fourni par les ensembles de bureaux de l'Unesco, à Paris ²³⁵.

La terre en remplissage : architecture à murs de blocage et à parois-enveloppes

La terre est utilisée en remplissage de matériaux creux qui constituent l'enveloppe, porteuse ou non, des édifices. Ce principe de construction des murs trouve son origine dans des solutions de maçonneries dites de "blocage" qui ont notamment révolutionné l'art de bâtir aux époques romaines, à partir du II^{ème} siècle av. J.C. L'*opus caementicium* allait en effet permettre aux bâtisseurs romains de s'affranchir des limites économiques imposées par l'emploi exclusif de la pierre. Leurs premières réalisations en application de ce principe constructif sont constituées de moellons noyés dans un mortier de terre pâteux auquel on substituera bientôt un mortier de sable volcanique à base de pouzzolane et d'argile qui en séchant constitue un conglomerat dur. Dans sa composition la plus élaborée, ce mortier sera fait de chaux vive éteinte et de sable ajouté de tuileau et fut principalement employé pour la construction des édifices publics. Dans sa composition élémentaire de blocage en pierres enserrant une épaisseur de mortier terreux et de nodules de chaux, ce principe est associé à la construction des habitats (fouilles de Pompei par exemple). En application de ce principe seront ensuite déclinés tous les types d'appareils des parements en pierres de la maçonnerie romaine : l'*opus incertum*, placage de moellons bruts dont le parement décrit une ébauche de dressage sera peu à peu remplacé par l'*opus reticulatum*, fait de troncs de pyramides à base carrée disposés de manière à former une trame transversale régulière puis, dans le courant du I^{er} siècle ap. J.C., l'*opus latericium* ou *testaceum* avec des parements réalisés en briques cuites. Quel que fut le type de parement maçonné, en pierres ou en briques cuites, dressé avec application, le blocage n'a finalement constitué qu'un coffrage perdu comblé par des couches successives de mortier de terre sablo-argileuse coulée et stabilisée par ajout de pierraille et de débris de terre cuite (*tesserae*), de chaux dans le meilleur des cas. Ces principes constructifs romains ont perduré jusqu'au début du XX^{ème} siècle et la majorité des habitats traditionnels, ruraux et même urbains, des pays bordant les rivages de la Mer Méditerranée en témoignent. Ce principe du "mortier romain" présente un nouvel intérêt dans des situations de développement d'un habitat économique et quelques pays ont réactualisé son emploi (Cuba, par exemple ²³⁶). L'utilisation de la terre crue en remplissage a aussi fait l'objet d'expérimentations contemporaines visant à développer des solutions constructives d'habitat très économique ou temporaire ou encore de murs dotés de propriétés acoustiques et thermiques améliorées par l'effet de masse que procure ce remplissage d'éléments creux. Ce sont des murs porteurs réalisés à partir du remplissage de blocs de béton alvéolaires, de matériaux textiles empilés (sacs de toiles de jute ou de coton par exemple ²³⁷), d'éléments isolants en liège aggloméré ou de grillages tendus sur des ossatures bois ²³⁸. Mais ces procédés n'ont connu qu'une période d'applications expérimentales.

²³⁵ Voir aussi les travaux et réalisations de l'architecte ingénieur français Henri Vidal à l'origine d'un procédé constructif de terre armée et de construction d'habitats enterrés conçu en application du principe d'écaillés en béton retenant un massif de terre réalisé en couches de terre fortement compactées. Des dalles préfabriquées en béton posées en appui sur ces écaillés constituant un mur de soutènement et sur une ossature métallique en façade, permettent ensuite de réaliser une toiture en terre couvrante. Des constructions de ce type ont été réalisées dans la région de Nice, dans les années 80. Voir Vidal, Henri et al., "Architecture habitat-paysage", in Annales ITBTP, Paris 1981.

²³⁶ Il nous a été donné d'observer cette utilisation contemporaine du mortier romain et du principe d'une maçonnerie de blocage en moellons de pierre ou en blocs de terre comprimés stabilisés, à Cuba, au cours de ces dernières années, notamment dans les provinces de Matanzas et de Cienfuegos. Ce principe constructif a été réactualisé par des expérimentations développées par le Centre Technique des Matériaux de Construction de La Havane, dans le cadre d'une recherche de solutions de construction à faible coût répondant aux impératifs de crise économique du pays soumis au blocus des États-Unis d'Amérique et traversant une période dite "spéciale", à la suite de l'effondrement de l'URSS et des pays du bloc des pays de l'Est qui exportaient jusqu'alors leurs technologies de préfabrication lourde en béton armé vers Cuba et cessèrent brutalement toute coopération économique avec l'île.

²³⁷ L'architecte iranien Nader Khalili connu dans les années 80 pour avoir travaillé en faveur d'une réactualisation de la construction en terre dans son pays, sous le règne du Shah qui favorisait l'importation des matériaux et techniques de construction occidentales, avait expérimenté un processus de vitrification des parements intérieurs de maçonneries de terre crue en allumant de grands feux dans les pièces de ses édifices. Cet architecte depuis lors exilé aux États-Unis d'Amérique, en Californie, a aussi mené à titre expérimental d'autres expérimentations visant à développer des systèmes constructifs à partir de sacs de toile remplis de sable ou de terre, empilés puis enduits au mortier de ciment. Le procédé retenait récemment l'intérêt des services du bureau résident du PNUD de Téhéran pour la réalisation de logements très économiques destinés au relogement des populations sinistrées par la guerre entre l'Iran et l'Irak. Nous en avons été informé par les services du PNUD lors d'une entrevue, en 1995, alors que nous étions en Iran pour collaborer avec l'Unesco à la définition d'un plan de conservation pour le site de Tchoga Zanbil. Ce même principe de construction en sacs de toiles remplis de terre, sous forme de boudins empilés maintenus en place par une armature en bambou a été également développé, à titre expérimental, en 1978, au Guatemala, par l'architecte-ingénieur allemand Gernot Minke, du GHK de Kassel. Voir Minke, Gernot, in "Alternatives Bauen", Gesamthochschul-Bibliothek, Kassel, RFA, 1980.

²³⁸ Au début des années 80, la Société Immobilière de Mayotte (SIM), en charge du développement d'un vaste programme d'habitat social sur l'ensemble de cette petite île des Comores sous tutelle politique et administrative de la France, a expérimenté ce procédé de réalisation d'habitat à ossature bois, grillagée en parement extérieur et intérieur, ensuite remplie de nodules de terre latéritique dure puis enduits de terre. Le procédé prit la dénomination de maison "kripi".

La terre découpée : architecture en mottes de terre ou en blocs découpés.

Des mottes ou des blocs de terre, aux dimensions variables, sont directement découpés dans la terre puis utilisés en maçonnerie pour l'édification de murs bâtis par simple empilement d'éléments ou appareillés et liés au mortier de terre. Pour le procédé de construction en mottes de terre, il s'agit d'une technique très présente dans les îles Britanniques, en Angleterre, au Pays de Galles, en Écosse ou en Irlande, connue sous plusieurs appellations : le "*sod*", le "*sward*", le "*flag*", le "*flaw*" ou le "*feal*", le "*divot*" ou le "*turf*". En Amérique centrale ou latine, le matériau est connu sous le terme de "*terrone*". Ce procédé fut en effet fréquemment utilisé pour la construction de l'habitat populaire très économique dans les campagnes des îles Britanniques mais aussi dans les territoires du Danemark et des pays de Scandinavie. La fortification de Solvig, au Danemark, datée du XIV^{ème} siècle, a révélé l'un des exemples les mieux conservés de ce procédé de construction en mottes de gazon empilées. On connaît par ailleurs l'utilisation de la tourbe dont l'exploitation ne fut pas limitée à la constitution de réserves de combustible de chauffe ou de cuisson des aliments sur les foyers domestiques, à des époques où la coupe du bois et le bénéfice qui en était tiré étaient réservés aux classes nobles propriétaires des biens terriens et forestiers. Les gisements de tourbe fournissaient aussi des mottes ou blocs de matériau terreux et organique aux formes irrégulières qui servaient à construire des murs d'habitats, en remplissage d'ossatures en bois rustiques ou de systèmes de murs-palissades en dosses et planches de bois grossièrement équarries (principe de la construction en "*blockbau*" des régions germaniques mais également sur les territoires des Vikings, en Scandinavie) qui furent largement développés tout au long du Haut-Moyen Âge et même au delà du X^{ème} siècle qui marque le passage au Moyen Âge. Ces principes de construction ont été développés aussi à ces mêmes époques sur les territoires de la Russie médiévale et de l'actuelle Pologne orientale, dans les grandes plaines drainées par le Dniestr et le Dniepr, entre la Baltique et la Mer Noire, ainsi que par le Don et la Volga jusqu'aux rivages de la Mer Caspienne. Il s'agissait d'habitat faits de rondins de bois, à demi-enterrés, dont un seul pignon s'ouvrait au Sud. Les mottes de terre venaient en appui contre les parois-palissades, en butée, pour les soutenir et servaient également à couvrir les toitures, jouant aussi le rôle d'une masse d'inertie thermique accumulant la chaleur du foyer. L'influence des Vikings danois, entre la fin du VIII^{ème} siècle et le XI^{ème} siècle sur l'ensemble des territoires d'Europe septentrionale a sans aucun doute contribué à l'expansion de cette culture constructive utilisant conjointement le bois en ossature porteuse et les mottes de terre ou blocs de tourbe en remplissage²³⁹. La technique de construction en "*sod*" ou "*turf*", d'origine anglo-saxonne fut également employée par les colons partant s'installer aux États-Unis d'Amérique, à la fin du XVIII^{ème} et au début du XIX^{ème} siècle, notamment dans les États du Missouri et du Nebraska où la pierre et le bois faisaient défaut. Développant cet art de bâtir en mottes de terre séchées et empilées, les colons de ces régions mirent au point un outil d'extraction des mottes par décapage de la surface du sol, à partir du principe d'une araire qu'il adaptèrent et dénommèrent "sauterelle". On retrouve ce principe de construction, aux mêmes époques, sur les territoires de la lointaine Australie, dans l'État de Victoria, utilisé par des familles de colons également originaires des îles britanniques²⁴⁰. L'autre mode d'utilisation de la terre découpée consiste à tailler des blocs de terre dans l'épaisseur de sol dont la nature s'apparente à celle d'un conglomérat tendre ou dans des croûtes latéritiques de surface en cours de processus d'induration, c'est à dire de durcissement au contact de l'air²⁴¹. On connaît aussi ce procédé de découpage de blocs de terre sous les appellations de "*tepetate*" au Mexique, de "*caliche*" aux États-Unis d'Amérique, de "*mergel*" en Hollande, de "*marl*" en Angleterre ou du "*tuf*" dans la plupart des pays méditerranéens. Autant de vocables vernaculaires qui désignent le même procédé de découpage de blocs de terre directement dans l'épaisseur du sol superficiel.

La terre comprimée : architecture en pisé et en blocs de terre comprimée

Les matériaux de construction sont réalisés en comprimant de la terre dans des moules ou des coffrages en bois ou "banches" ou plus récemment dans l'histoire à l'aide de presses mécaniques, manuelles ou motorisées qui se sont développées de façon impressionnante depuis les années cinquante de ce siècle. Le procédé de compression de la terre dans des moules en bois pour réaliser des blocs de terre comprimée manuellement, à l'aide d'un pilon, a été repéré dans

²³⁹ Se reporter à l'ouvrage de Ake Gustavson, "Les Vikings" qui propose des restitutions de l'habitat scandinave aux 5^{ème} et 6^{ème} siècles et de la maison danoise du 9^{ème} siècle. Voir aussi le remarquable ouvrage de Jean Chapelot et de Robert Fossier, "Le village et la maison au Moyen Âge", 1980, op. cit. et plus particulièrement le chapitre III, "La maison et ses annexes dans l'habitat rural du haut Moyen Âge", pp. 79-135. D'autres évocations de ces habitats des régions d'Europe Septentrionale et centrale au Moyen Âge sont fournies par la récente collection du Grand Larousse "Découvertes Junior", éditions Larousse et Gallimard, Paris, 1991, Tome 3, "Le monde avant l'an mille", pp. 542-543, "Le village" (entre le 6^{ème} et le 10^{ème} siècle), pp. 548-549, "La famille viking", pp. 558-559, "Une ville-comptoir" (Hedeby en Suède), pp. 562-563, "Le pays russe".

²⁴⁰ Voir l'ouvrage de Miles Lewis, "Victorian Primitive", 1977, op. cit., pp. 9-12.

²⁴¹ Ce procédé a pu être encore observé, récemment, au Burkina Faso, où les bâtisseurs prélèvent dans l'épaisseur du sol et sur plusieurs couches qui constituent une véritable carrière, des blocs de plinthite qui une fois laissés à sécher à l'air deviennent aussi durs qu'une roche tendre et résistants à l'eau. En Lybie, le même procédé d'extraction de blocs de terre à même le sol a été développé de façon mécanisée, dans les années soixante, à l'aide de scies circulaires tractées.

la littérature française du XVIII^{ème} siècle, notamment dans les écrits de François Cointeraux (1740-1830) qui le développa sous l'appellation de "nouveau pisé" et qui inventa, semble-t-il, la première presse, en application du principe du pressoir à raisin, et qu'il dénomma la "crécise"²⁴². Ce procédé a sans doute été utilisé au cours du XIX^{ème} siècle dans les pays d'Europe où les écrits de Cointeraux, traduits en anglais, allemand, italien, danois et même finlandais ²⁴³, ont connu un important rayonnement. On en retrouve la description dans la littérature allemande, éditée en R.D.A., aux lendemains de la Seconde Guerre Mondiale, alors que ce pays doit faire face à d'énormes programmes de reconstruction²⁴⁴. Le procédé décrit est tout à fait similaire à celui mis au point par François Cointeraux, cent quarante années avant. La technique du compactage des blocs de terre à l'aide de presses ne s'est véritablement développée qu'à partir des années cinquante de ce siècle, dans des situations de nouvelle impulsion donnée à la construction en terre pour la réalisation en nombre d'habitats économiques. C'est en effet l'ingénieur colombien Raúl Ramirez, du centre de recherche et d'expérimentation CINVA de Bogota, en Colombie, qui inventa la fameuse presse "Cinva-Ram", dont la diffusion internationale fut très large jusque dans les années soixante et dix avant de donner naissance à une nouvelle génération de presses manuelles dérivées de sa conception, mais considérablement améliorées du point de vue de leur résistance et durabilité²⁴⁵. La technologie du bloc de terre comprimée a connu une fantastique avancée, au cours des années 80 et 90, dans le cadre de la réalisation de programmes d'habitat économique dans de très nombreux pays en développement, en Afrique et en Amérique latine mais aussi sur le sous-continent indien. Ces deux dernières décennies permettaient de constituer une véritable science de cette technologie.

L'autre procédé de compression de la terre pour réaliser des maçonneries est le "pisé", qui utilise traditionnellement des coffrages en bois et des pilons également en bois. La culture du pisé est très répandue dans le monde. On peut en effet l'observer dans la plupart des pays riverains de la Mer Méditerranée Occidentale, c'est à dire dans les pays du Maghreb (Tunisie, Algérie, Maroc), en Espagne, mais également au Portugal, en France, en Italie, en Suisse mais très peu en Europe septentrionale et centrale (Angleterre, Belgique, Allemagne, Pays-Bas, Danemark) où elle n'a connu que des développements limités et principalement au XIX^{ème} siècle sous l'impulsion du rayonnement de la traduction des écrits de François Cointeraux diffusés par les sociétés d'agriculture ou sciences et arts illuministes. En effet, c'est la France, en Europe Occidentale qui offre les plus beaux témoignages d'une architecture traditionnelle en pisé dans la moyenne vallée du Rhône, le val de Saône, en Dauphiné, Bresse, et dans le Forez, où la typologie architecturale du pisé est l'une des plus variées et belles du monde. Cette typologie rassemble des fermes et granges, maisons bourgeoises et châteaux, églises, manufactures et usines de filature, cités ouvrières, mairies et écoles. La culture constructive du pisé y fut pratiquée jusque dans les années cinquante après avoir connu un renouveau spectaculaire au cours de la fin du XVIII^{ème} siècle et tout au long du XIX^{ème} siècle avec le rayonnement de la pensée des physiocrates qui impulsèrent une amélioration des conditions de vie et de logement des campagnes françaises et plus largement européennes. Aux époques pré-révolutionnaire, un architecte, Georges-Claude Goiffon, publiait "l'Art du Maçon Piseur"²⁴⁶ qui allait être un ouvrage de référence pour beaucoup de propriétaires terriens soucieux d'améliorer leurs domaines. François Cointeraux (1740-1830), architecte-entrepreneur d'origine lyonnaise que l'on a déjà évoqué, fut un ardent propagateur de cette technique en créant, à Paris et en Province, une "École d'Architecture Rurale" et en assurant la promotion d'un "nouveau pisé" par ses nombreux essais et pamphlets (on en compte pas moins de 72). Ces écrits devaient être traduits en plusieurs langues (Anglais, Allemand, Italien, Danois, Russe) par des architectes contemporains célèbres (Henry Holland en Angleterre, 1797, David Gilly en Allemagne, 1821) et favorisaient un large développement moderne du pisé en Europe centrale, et jusque'en Australie et aux États-Unis d'Amérique. Au-delà de cet espace européen, on retrouve la

²⁴² Cointeraux, François, "Cahiers d'École d'Architecture Rurale" (quatre cahiers), publiés à Paris entre 1790 et 1791, op. cit. Voir aussi, du même auteur, "Du nouveau pisé, ou de l'art de faire le pisé par appareil", Paris, 1806, 19 p. Ou encore, "Description curieuse et instructive des modèles en pisé et autres, que l'on voit dans l'atelier du Sieur Cointeraux, 1806, 20 p. Les planches de ces opuscules de Cointeraux qui décrivent le procédé de moule, en forme de deux grosses poutres compartimentées par des closoirs en bois et maintenues par des charges latérales en butée, ont été largement reproduites dans les traductions étrangères des écrits de Cointeraux. Nous pensons notamment ici, à l'édition allemande de l'intégralité des "Cahiers d'École d'Architecture Rurale", réalisée à l'initiative d'un professeur de philosophie de l'Université de Leipzig, en 1803 : "Cointeraux, François, *Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang*", Leipzig, 1803, 195 p. Une réédition récente a été produite par ZA Reprint, toujours à Leipzig, 1989, 206 p.

²⁴³ Nous avons réalisé une recherche sur cette question du rayonnement international de l'œuvre littéraire de François Cointeraux, encore inédite. Guillaud, Hubert, CRATERre-EAG, "Les grandes figures du patrimoine régional Rhône-Alpes, François Cointeraux (1740-1830), pionnier de la construction moderne en pisé", Grenoble, mars 1994, 48 p.

²⁴⁴ Fauth, Wilhelm, "*Der praktische Lehmabau*", éditions Limes Verlag, Wiesbaden, 1946, 130 p.

²⁴⁵ Cette fameuse presse Cinva-Ram fut fabriquée sous licence en France par les établissements Japy-Peugeot qui contribuèrent à sa diffusion dans de nombreux pays africains. Pour mieux connaître cette nouvelle génération de presses produites depuis les années soixante et dix voir les publications du CRATERre-EAG, de l'École d'Architecture de Grenoble, dont, "Construire en Terre", 1979, op. cit., amendé et réédité en 1985 puis encore récemment édité aux éditions l'Harmattan, Paris, en 1996. Voir aussi Hugo Houben et Hubert Guillaud, "Traité de Construction en terre", éditions Parenthèses, 1989, op.cit. et plusieurs guides sur les matériels de production des blocs de terre comprimée récemment édités avec le concours du Centre de Développement Industriel de Bruxelles, Belgique.

²⁴⁶ Goiffon, Georges-Claude, "L'art du maçon piseur", Librairie Le Jai, Paris, 1772, op. cit.

culture constructive du pisé en Extrême-Orient, en Chine, avec les très surprenantes réalisations des maisons-fortresses claniques des *Hakka* du *xian* de Yongding, au Fujian, qui abritent jusqu'à vingt familles. On peut aussi repérer l'existence du pisé au Bouthan et au Ladakh, sur les territoires escarpés des contreforts himalayens. Bizarrement, cette culture ne fut pour ainsi dire pas développée au cours de l'histoire, dans les régions du Proche et du Moyen-Orient, largement supplantée par la technique de la maçonnerie en brique crues. La construction en pisé existe également en Amérique latine où elle fut semble-t-il développée par les Incas, notamment au Pérou, alors que son développement plus large sur ce sous-continent doit être situé au cours des époques coloniales espagnoles et portugaises qui l'importaient de la péninsule ibérique et l'y introduisaient, au Mexique, au Venezuela et en Équateur où elle est désignée par le vocable "*tapial*" et au Brésil où elle est dénommée "*taipa*", termes qui semblent être d'origine arabe et maure²⁴⁷. Mais quelle est l'origine supposée de cette technique du pisé ? D'aucuns disent qu'elle est d'origine romaine, d'autres phénicienne ou tyrienne, ou punique (Carthage). Parmi les témoignages des auteurs anciens, on doit relever celui de Pline l'Ancien qui évoque la construction en pisé en "Barbarie" (Afrique) et en Espagne²⁴⁸, attestant de la réalité d'une pratique punique de ce procédé de mise en œuvre. Pline vécut en effet sous les règnes de Tibère et de Titus, entre 23 et 79 du I^{er} siècle ap. J.C., et l'on peut s'étonner qu'il n'ait pas repéré cette technique du pisé sur les territoires romains d'Italie. On remarquera par ailleurs que Vitruve²⁴⁹ n'en fait pas non plus état, lui qui vécut et écrivit ses fameux "Dix Livres de l'Architecture" à la fin de ce même I^{er} siècle. Pourtant, Varron, qui vécut au I^{er} siècle av. J.C mentionne la construction de murs en pisé qu'il observa en territoire sabin²⁵⁰. Mais on pourrait penser que le terme latin "*pinsare*" qui signifie broyer, piler ou battre n'ait pu désigner que le pilage des "*tesserae*" (éclats de briques cuites) dans les maçonneries de blocage, à l'aide d'un simple bâton, la "*fistuca*", et que les formes élaborées du pisé, soit la mise en œuvre de la terre seule, en coffrages et par compactage en couches successives, ait pu être introduite en quelques régions rurales, sous influence du rayonnement de la culture constructive punique et qu'elle ait pu être généralisée plus tardivement, en milieu rural, si l'on prend en compte les écrits de Palladius, au V^{ème} siècle ap. J.C., qui mentionne également la construction de murs de clôture avec ce procédé²⁵¹. En tout cas, les pratiques puniques du pisé ne sont pas seulement évoquées par les écrits de Pline l'Ancien mais bien réellement, par les fouilles qui ont été menées sur la colline de Byrsa, site fondateur de la ville de Carthage. On peut l'observer en effet sur les vestiges du fameux quartier dit "d'Hannibal"²⁵², daté du II^{ème} siècle av. J.C., où demeurent des pans de parois en pisé comme d'autres d'ailleurs en briques crues, interposés en remplissage de colonnes de structures bâties en pierres, principe qui répond à l'*opus africanum* énoncé par les romains décrivant Carthage. Quoiqu'il en soit, la culture constructive du pisé est demeurée très présente dans l'espace méditerranéen occidental jusqu'aux époques actuelles. Les influences arabes puis maures liées à l'expansion de l'Islam entre le VII^{ème} et le début du X^{ème} siècle, auront sans aucun doute contribué au développement de cette culture constructive du pisé dans l'ensemble des territoires du Maghreb et sur la péninsule ibérique, avec, il se pourrait, des pénétrations de cette culture jusqu'au centre de la France et notamment en Auvergne où la typologie du pisé demeure bien différente de celle que l'on peut observer dans la vallée du Rhône et de la Saône qui serait davantage d'origine gallo-romaine. Ce sont là des hypothèses de recherche qui doivent être encore

²⁴⁷ En effet, on doit distinguer cette filiation sémantique du vocable espagnol, "*tapial*", "*tapia*" et "*tabia*" ou encore "*tâbiya*" en andalou ainsi que du vocable portugais, "*taipa*" qui a également donné le terme "*tapy*" de la langue d'Oc adopté en provençal, de l'autre filiation sémantique dérivée du latin "*pinsare*" qui signifie broyer, piler, battre et qui a donné les termes français pisey, pisay ou pisé. Pour la première filiation sémantique, le chercheur André Bazzana, dans une communication présentée à Silves, Portugal, lors de la 7^{ème} Conférence internationale sur la Conservation et l'Étude des Architecture de Terre, "Terra 93", communication intitulée "La construction en terre dans Al-Andalus : le Tabiya", (pp. 76-82 des communications publiées par la DGEMN du Portugal, op. cit.). Citons l'auteur : "L'origine du terme est bien claire : *tapial* - ou *tabia* - est la transcription hispanique directe du mot *tâbiya*, attesté au Maghreb al-Asqa et qui transparaît sous la forme de *toub* en Ifriqiya ; c'est le même mot qui, en pays occitan - *tapia* - désigne la même réalité, qui concerne moins le matériau lui-même que sa technique de mise en œuvre." On notera aussi que le terme d'origine arabe "*luh*" ou "*leuh*" encore couramment employé au Maroc (Vallées du Drâa et du Dadès) fut aussi employé en Espagne, notamment dans les régions de Alicante et de Valencia.

²⁴⁸ Pline l'Ancien, in "*Naturae Historiarum*", XXXV, 48, op. cit. : "N'y a-t-il pas en Afrique et en Espagne des murs de terre dits murs banchés, parce qu'on les jette dans des banches entre des parois plutôt qu'on ne les construit ? (...) L'Espagne voit encore aujourd'hui les postes de guet d'Annibal et les tours de terre placées sur le sommet des montagnes."

²⁴⁹ Vitruve, "*De Architectura*", II 1, II 3, II 8., op. cit. Vitruve s'attarde en effet à décrire la production des briques de terre crue et à évoquer quelques exemples d'architectures prestigieuses construites avec ce matériau.

²⁵⁰ Varron, in "*Res Rusticae*", I, 14, 40, op. cit. : "un mélange de terre et de graviers agglomérés dans des moules".

²⁵¹ Palladius, in "*Opus agriculturae*", I, 34, Les Belles Lettres, Paris, op. cit. : "Il existe plusieurs sortes de clôtures. Certains cultivateurs, en enfermant de la boue entre des formes, en font qui ressemblent un peu aux murs de briques."

²⁵² Nous nous sommes rendus sur le site en avril 1996, guidé par l'archéologue responsable du site et avons effectivement constaté l'existence de ces systèmes de construction mixtes qui associent la pierre, la brique de terre crue et le pisé. Ne pas confondre évidemment avec les bases de "colonnes" en pisé, très visibles sur le site, qui correspondent à un système de fondation mis en œuvre par les romains pour édifier une plateforme sur laquelle ils ont ensuite construit la basilique et le forum qui demeure sur la partie haute de la colline de Byrsa. Voir aussi : Lancel, Serge (sous la direction de), Mission Archéologique Française à Carthage, Rapports préliminaires des fouilles (1974-1976), 2 volumes, "Byrsa I", 337 p. et "Byrsa II", 417 p., Collection de l'École Française de Rome, 41, éditions de l'École Française de Rome, Palais Farnèse, 1979.

développées. En France, la culture constructive du pisé est demeurée pleinement vivante tout au long de la première moitié de ce XX^{ème} siècle et finissait par être désuète vers les années cinquante. Mais ce ne fut pas un arrêt définitif car, les années 70 et 80 allaient lui donner un nouveau souffle²⁵³. En effet, cette technique connaît alors un nouveau développement pour des applications à l'architecture contemporaine des logements et des édifices publics. De nombreux projets ont été réalisés au cours de ces vingt dernières années, non pas tant en France mais surtout aux États-Unis d'Amérique et en Australie²⁵⁴, avec de nouveaux procédés de coffrages grimpants métalliques et un compactage dynamique du matériau à l'aide de fouloirs pneumatiques, dérivés de l'industrie traditionnelle de la fonderie, procédés de mise en œuvre qui rompent avec la tradition du petit coffrage en bois déplacé de façon horizontale et linéaire et du compactage manuel à l'aide de pilons, dames ou pisoirs, héritée de la cultures constructive en pisé des temps anciens. Ces progrès de la technique du pisé lui réservent un réel avenir d'autant que la construction en terre devient désormais intimement associée aux développements d'un nouveau mouvement culturel en faveur d'une architecture écologique ou "bioarchitecture" qui mobilise de plus en plus de professionnels, organisés en réseau²⁵⁵, en France, en Allemagne et en Italie pour ce qui est du contexte européen. Cette nouvelle idéologie de l'habitat "propre" ou de la maison "saine" s'étend aussi à d'autres pays industrialisés du monde alors que, dans les pays en développement, ce sont les intérêts économiques d'un abaissement des coûts de production et de construction, ainsi que ceux de l'installation de filières de production artisanales ou semi-industrielles, créatives d'emplois et de plus-value monétaire, qui motivent, si ce n'est une renaissance, une continuité d'existence des cultures constructives en terre.

La terre façonnée : architecture au colombin ou en boudins de terre

La terre est généralement utilisée à l'état plastique pour dresser des parois minces, de 5 à 15 cm d'épaisseur, directement façonnées à la main. Il s'agit principalement de constructions dressées selon la méthode du colombin de potier, de couches de terre façonnées ou même de matériaux végétaux torsadés ou tressés, trempés dans de l'argile puis utilisés pour édifier ces parois minces. Parfois, les bâtisseurs préparent préalablement des boudins de terre comme en témoigne la construction des greniers-bouteilles du groupe *Daba* des régions orientales du Burundi²⁵⁶. Très largement utilisés pour la construction des greniers, en Afrique, ces procédés de mise en œuvre ont parfois été employés pour la construction d'habitats. En effet, ils correspondent à une grande variété de cultures constructives vernaculaires africaines parmi lesquelles celle des cases-obus de l'ethnie *Mousgoum* du Cameroun et du Tchad ou des greniers de la région de Affala, au Niger, des greniers des concessions d'habitat-forteresse de l'ethnie *Somba* du Bénin, qui sont parmi les plus remarquables et ont retenu l'attention des premiers explorateurs, dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, puis des chercheurs en anthropologie et ethnologie. Plusieurs ouvrages de référence pour la communauté des chercheurs investis dans le domaine d'étude des architectures de terre traditionnelles en Afrique rendent compte de ces cultures constructives du façonnage direct dont les applications constructives et architecturales sont surprenantes d'ingéniosité des bâtisseurs et de qualité esthétique résultant de la beauté des formes souples, rondes et ovales, de la dimension impressionnantes des structures si l'on tient compte de la faible épaisseur des parois et qui témoignent d'un savoir-faire

²⁵³ L'année 1973 qui correspond à une crise majeure dans le secteur de l'énergie pétrolière va avoir des répercussions directes sur de nouvelles recherches et expérimentations dans le secteur du bâtiment et le domaine des matériaux et des techniques de construction peu consommateurs d'énergies, pour leur production comme leur mise en œuvre. Dans ce contexte, le renouveau de la construction en terre apparaît être une alternative crédible. Les premières expériences réalisées par l'ADETEN, à Vignieu, en Isère, association d'étudiants architectes de l'Unité Pédagogique d'Architecture de Grenoble, lesquels fonderont ensuite le CRATerre en 1979, vont inaugurer une nouvelle époque d'investissement dans la recherche, l'expérimentation et les projets qui sera par ailleurs très soutenue, au plan culturel et médiatique par l'exposition "Des Architectures de terre" présentée au Centre Georges Pompidou en 1981-82, puis par un appui gouvernemental accordé à la recherche dans ce domaine. Mais, paradoxalement, ce n'est pas en France, malgré une nouvelle démonstration donnée par le projet du "Domaine de la Terre" de l'Isle d'Abeau (1983-85) que la culture constructive du pisé connaîtra les développements les plus significatifs. C'est en effet aux États-Unis d'Amérique et en Australie que le pisé va s'imposer comme une technique de construction pleine d'avenir.

²⁵⁴ Cette renaissance du pisé aux États-Unis a débuté à la fin des années soixante et dix à l'initiative de pionniers, d'entrepreneurs et d'architectes parmi lesquels on doit citer l'avocat David Miller et son épouse Lydia, demeurant à Greeley dans le Colorado, fondateurs du "*Rammed Earth International Institute*" qui publiait des manuels puis une bibliographie sélective sur le pisé : Miller, David et Lydia, "Rammed Earth. A selected bibliography", 1982 et Miller, David et Lydia, "Manual for building a rammed earth wall", 1980, op. cit. On doit également citer l'entreprise Schmidt Builders de San David, Sud de l'Arizona et l'ingénieur-architecte David Easton en Californie, à l'origine des premières nouvelles réalisations architecturales d'habitat en pisé qui vont peu à peu conforter un nouveau marché pour cette technique dans le sud-ouest des États-Unis. Voir Easton, David, "*The rammed earth experience*", Wilseyville, Blue Mountain Press, 1982. D'autres professionnels suivront. En Australie, ce même mouvement en faveur d'une renaissance du pisé démarre simultanément à l'initiative du constructeur Steve Dobson, société RAMTEC, à Perth, Western Australia et de l'architecte David Oliver, à Buderim, Queensland. Ces deux constructeurs en pisé ont été depuis lors à l'origine de réalisations architecturales en pisé, privées et publiques, de grande qualité.

²⁵⁵ Un réseau des professionnels allemands de la construction en terre s'est constitué sous l'appellation de "*Lehmbau*" qui se réunit régulièrement depuis ces dernières années et également en Angleterre sous la dénomination "*Out of Earth*". Le réseau terre français qui aurait pu voir le jour dès le début des années 80 grâce à des soutiens gouvernementaux demeure encore à ce jour très informel.

²⁵⁶ In Christian Seignobos, "Nord Cameroun, Montagnes et Hautes Plaines", éditions Parenthèses, 1982, op.cit., pp. 112-114.

très élaboré²⁵⁷. On a également repéré des applications de ce procédé de façonnage direct en Amérique centrale, au Mexique, pour l'édification de greniers. Cette technique du façonnage direct remonte aux temps les plus anciens des cultures africaines. On peut en effet observer des greniers, de taille assez modeste et rassemblés dans des sites protégés d'accès difficile, réalisés en application de ce procédé, sur les sites de la culture *Nok* du Nigeria, datés de l'Age du Fer (500 av. J.C. - 200 ap. J.C.)²⁵⁸. La question qui doit être encore posée est celle de l'étude scientifique de ces procédés de mise en œuvre de la terre crue en façonnage direct. Car jusqu'à présent, si ces cultures ont été décrites par l'observation du patrimoine architectural visible, elles n'ont pas réellement fait l'objet d'une analyse détaillée des savoir-faire. Or, l'on pense savoir que la préparation du matériau et sa composition sont essentielles pour permettre la réalisation de telles constructions à parois minces qui se comportent certes comme des coques de forme conique ou semi-sphériques répartissant de façon homogène les contraintes sur l'ensemble de leur surface, mais dont la résistance et la durabilité aux agents de dégradation atmosphériques demeurent toujours surprenante. Les savoir-faire sont très variés, dans chacune des régions mais on peut constater que la terre utilisée à l'état plastique et toujours amendée, lors de sa préparation, de matériaux naturels de nature végétale et organique, sans compter les jus résultant de la décoction de plantes qui ont un effet stabilisant. Les dernières décennies qui ont accéléré, en Afrique, une rapide évolution et des mutations sociales et culturelles en imposant le modèle de la grande ville et de l'abandon d'une grande partie des zones rurales par un processus d'immigration intérieure vers ces nouveaux centres urbains, rendent de plus en plus désuètes ces techniques de construction en façonnage direct dont les savoir-faire tendent à s'éteindre. Certaines de ces cultures constructives mériteraient d'être inscrites au Patrimoine de l'Humanité pour que nous puissions en garder la mémoire²⁵⁹.

La terre empilée : architecture en bauge

Des boules de terre sont empilées pour constituer des murs porteurs épais en couches ou "levées" de terre successives. Ce mode de construction est désormais abandonné en Europe où il était pratiqué sous le nom de "bauge", en France ou de "cob", en Angleterre. Les "bourrines" vendéennes, petites maisons des "maraîchins" (éleveurs de canards) vendéens tapies dans le Marais de Mons, les habitats ruraux modestes que l'on peut observer à l'intérieur de la Bretagne et les "longères" des territoire d'Ille-et-Vilaine, comme les habitations rurales du Vexin, ou celles en "massé" du Cotentin, sont, en France, parmi les seuls et rares exemples qui nous demeurent de ce procédé de mise en œuvre tombé en désuétude beaucoup plus tôt que le pisé ou la brique crue. D'autres régions, comme l'Aquitaine en témoignent également mais plus rarement. Tout au long du Moyen Âge, la construction en bauge fut réservée à l'édification des demeures les plus modestes, correspondant à la typologie des maisons en longueur, celles des vilains, des bordiers et des cottiers qui fournissaient la main d'œuvre des fermes et domaines des propriétaires terriens. En Angleterre, la culture constructive du "cob" est notamment observable dans la région du Devon et dans le Dorchester (village de Milton Abbas, 1773, par exemple). Elle semble avoir été développée depuis des temps plus anciens et notamment au Moyen Âge, comme peuvent en témoigner des vestiges d'une maison datée de la fin du XII^{ème} et du début du XIII^{ème} siècle, sur le site de Wallingford (Oxfordshire). Mais la culture constructive de la bauge est beaucoup plus étendue dans le monde et on peut l'observer dans plusieurs pays du Moyen-Orient comme sur les territoires des plateaux semi-désertiques de Saada, au Yémen ou au sud de l'Arabie Saoudite dans la région de Najran, où elle fut portée à un degré d'excellence du savoir-faire. On la retrouve également dans le centre et dans les régions occidentales du sud de l'Inde, autour de Wharda et de Manipal. On peut aussi l'observer en Afrique, dans plusieurs pays, avec là encore une culture constructive très élaborée, comme chez les ethnies *Lobi* et *Puguli* du Burkina Faso ou en Casamance, au Sénégal, où la bauge fut utilisée pour la construction des grandes cases à *impluvium*, ou encore sur les hauts plateaux de Madagascar. Et même jusqu'en Afghanistan. Et ce n'est là qu'un aperçu de l'importance quantitative et qualitative de ce patrimoine fait de boules ou de paquets de terre empilés. Le procédé remonte aux temps les plus anciens de l'histoire de l'homme

²⁵⁷ Parmi ces ouvrages et articles scientifiques qui constitueront une partie de notre corpus de référence sur l'architecture africaine, citons les suivants : Labouret, H., "L'Habitation de l'Afrique noire", 1931, op. cit. ; Prussin, Labelle, "*Sudanese architecture and the Manding*", in *African Arts*, vol. III, n°4, 1970, op. cit. et "*Architecture in Northern Ghana. A study of forms and functions*", Berkeley, 1969, et, "*West African Mud Granaries*", in *Paideuma*, 1972 ; Fassassi, M.A., "L'Architecture en Afrique Noire", Cosmoarchitecture, éditions Maspero, Paris, 1978 ; Gardi, René, "Maisons africaines", éditions Elsevier, Paris-Bruxelles, 1974 ; Seignobos, Christian, "Nord Cameroun, Montagnes et Hautes Terres", op. cit.; Bourdier, J.P. et Minh-Ha, T.T., "*African spaces, Designs for living in Upper Volta*", 1985, op. cit. ; Bourgeois, J.L. et Pelos, C., "*Spectacular Vernacular, a New Appreciation of Traditional Desert*" 1983, op. cit., réédité et augmenté en 1989 sous l'intitulé "*Spectacular Vernacular, The Adobe Tradition*", aux éditions Aperture Foundation Inc., New York, 191 p. ; CRATerre-EAG, sous la direction de Doat, Patrice, Bardagot, Anne-Monique, Guillaud, Hubert, Houben, Hugo, Joffroy, Thierry, Rigassi, Vincent, Rollet, Pascal, Vitoux, François, "Étude sur les savoirs constructifs au Burkina Faso", éditions CRATerre-EAG, 1991, 192 p.

²⁵⁸ Il nous a été donné de visiter ces sites en 1988, alors que nous initions un projet de développement sur la construction en terre pour l'habitat, dans la région de Jos, État du Plateau, avec le soutien du Ministère des Affaires Étrangères de la France en collaboration avec la Commission Nationale des Musées et Monuments du Nigeria.

²⁵⁹ On peut relever ici l'initiative heureuse de l'association française "Patrimoine sans frontières", qui réalise actuellement une étude sur la culture constructive des cases Mousgoum au Cameroun et au Tchad, en essayant simultanément de contribuer à maintenir les savoir-faire par la réalisation de nouveaux projets.

bâtitseur. On le repère en effet en Chine, sur le site néolithique de Banpo, de culture Yangshao, implanté sur les plateaux loessiques dominant la vallée du Huang (près de Xi'an, province du Shaanxi) et datant du IV^{ème} millénaire av. J.C. La bauge n'y est pas le procédé constructif le plus développé car les habitats sont plutôt en ossatures de bois vraisemblablement hourdées de torchis mais on a repéré le principe d'un mur bahut en terre empilée qui semblait retenir ou protéger la base d'une structure élevée au-dessus du sol, de plans carré, correspondant à la période tardive du site et qui semblerait avoir été la résidence d'un chef de tribu ou un édifice de réunion des membres d'un clan²⁶⁰. L'utilisation constructive de ce procédé de terre empilée était toujours développée par la suite, aux époques Longshan (est et sud-est de la Chine) dont les établissements étaient plus vastes que ceux de la culture Yangshao, de type permanent et ceints de murailles de terre empilée²⁶¹. L'utilisation de la bauge, en Chine semble avoir régressé au delà de l'époque des Han (II^{ème} siècle av. J.C.) au profit de la brique crue développée dès l'époque des Royaumes Combattants (IV^{ème} siècle av. J.C.) puis du pisé qui semble apparaître à l'époque des Trois Royaumes (II^{ème} siècle ap. J.C.) et enfin au profit de la brique cuite largement développée sous la dynastie Tang entre le VI^{ème} et le IX^{ème} siècle pour la construction des palais et des habitats et édifices publics des villes, la terre crue étant alors réservée pour la construction des habitats populaires et pour les fortifications généralement élevées en pisé²⁶². Dans d'autres régions du monde, on repère l'utilisation de la bauge depuis des temps très anciens. C'est par exemple le cas en Amérique centrale, sur le fameux site de Paquimé, État de Chihuahua au Mexique. Ce site, découvert au début du XVIII^{ème} siècle²⁶³, fait partie de la Culture des *Hohokam* qui s'est épanouie au Sud-Ouest des États-Unis et au Nord du Mexique, entre le III^{ème} siècle av. J.C. et jusqu'au XV^{ème} siècle de notre ère. L'occupation du site est assez récente dans l'histoire et a été située par Charles Di Peso entre 700 et 1660 ap. J.C., selon trois périodes successives : la Vieille (700-1060 ap. J.C.), la Moyenne (1060-1340 ap. J.C.) et la Tardive (1340-1660 ap. J.C.). Ce qui retient notre intérêt justifiant l'évocation de ce site, c'est tout d'abord son ampleur puisque les ruines couvrent près de 50 hectares et ensuite, ce qui nous semble être un quiproquo quant à l'interprétation du mode de mise en œuvre du matériau terre pour l'édification de murs des édifices aujourd'hui ruinés. Les documents dont nous disposons²⁶⁴ montrent des murs ruinés construits en levées de terre successives mais abondamment fissurés, attestant de la mise en œuvre du matériau terre à un état plastique ayant opéré un important retrait au séchage. Hors, les hypothèses qui ont été faites sur la technique de construction de Paquimé semblent pencher en faveur d'un matériau coffré en application du principe d'utilisation de banches en bois, tel que l'on pourrait en utiliser pour réaliser du pisé. La distinction doit être clairement établie ici entre la différence des teneurs en eau de mise en œuvre du matériau terre pour une bauge, dressée à l'état très humide, voire plastique et pour le pisé, élevé à l'état très peu humide qui permet justement de compacter le matériau et réduit considérablement son retrait au séchage. Du principe de la bauge coffrée, nous ne connaissons que de très rares applications, certaines ayant été repérées en Angleterre, dans le Devon, vraisemblablement à partir de la fin du XVII^{ème} siècle. Pour ce qui concerne l'Amérique centrale et latine, il semblerait que le pisé n'ait été que très rarement développé, peut-être par les Incas (site de Puruchuco, par exemple) mais certainement plus largement introduit par les colons espagnols et portugais, au XVI^{ème} siècle. Nous repérons là un exemple possible de cette confusion sur l'identification et la dénomination d'un matériau, d'un mode de mise en œuvre et d'une technique de construction en terre. Au delà de ces considérations, il faut rappeler que le procédé de construction en terre empilée ou "bauge" a perduré dans l'évolution des cultures constructives, en Europe, jusque vers la fin du XIX^{ème} siècle et à de rares exceptions jusqu'au tout début de ce XX^{ème}

²⁶⁰ In Dunzhen, Liu, "La Maison Chinoise", éditions Berger-Levrault, Paris, 1980, 234 p., p. 12 et p. 41.

²⁶¹ Voir "Atlas Archéologique universel", de David et Ruth Whitehouse, traduction de Joëlle Chalavoux, éditions Tallandier, Paris, 1978, 290 p., "Les sites néolithiques de Chine", p. 210.

²⁶² Beijing (Pékin) a conservé des restes de ses fortifications en pisé jusque dans les années cinquante de ce XX^{ème} siècle.

²⁶³ La première visite attestée de la vallée de Casas Grandes, fut entreprise en 1766 par Nicolas de Lafora qui a brièvement décrit les ruines. Mais la zone avait été investie depuis 1536 par une expédition conduite par Alvar Nuñez Cabeza de Vaca, puis en 1564 par une autre expédition conduite par Francisco de Ibarra dont le chroniqueur, Baltazar de Obregon évoque la vision d'établissements en terre, abandonnés. Le premier anthropologue professionnel qui étudia la zone et en fit une description plus large et détaillée, fut Adolfo Bandelier, en 1855, suivi de Carl Lumholtz, en 1898. D'autres visites ont été effectuées au début de ce siècle, par Hewett, en 1906, puis Alfred V. Kidder, dans les années 20, Eduardo Noguera en 1926 et, dans les années 30, plusieurs archéologues, tels Brand, Sayles et Lister. Le site ne fut formellement fouillé qu'entre 1958 et 1961, sous la direction de Charles Di Paso.

²⁶⁴ Le site a été visité par un des collègues de notre laboratoire de recherche, en 1990, à l'occasion de la 6^{ème} Conférence Internationale sur la Conservation des Architectures de Terre, Adobe 90, Las Cruces, Nouveau Mexique, États-Unis, qui nous en a rapporté de belles images. Nous disposons également d'extraits du rapport des campagnes de fouilles de Charles Di Paso, "*Casas Grandes : a fallen trading center of the Grand Chichimeca*", Amerind Foundation Inc., Dragoon, Flagstaff, 1974, et d'une thèse présentée à l'École Nationale de Conservation, Restauration et Muséographie, "*Manual Del Castillo Negrete*", de l'INAH, México, par Margarita Carolina Castellanos Avila, intitulée "*Hacia una propuesta Integral de Conservacion Para Sitios Con Arquitectura De Tierra, Paquimé : Un Estudio De Caso*", Mexico, 1995, 165 p. Ce document restitue l'hypothèse d'un matériau coffré, émise par Charles Di Paso, pp. 90-96.

siècle ²⁶⁵. On a récemment pu observer un nouvel intérêt pour ce mode de construction avec une évolution de la technique consistant à préfabriquer au sol des unités parallélépipédiques de bauge et à les élever puis mettre en place à la grue, comme on le ferait pour réaliser des objets en "lego" ou "duplo" ²⁶⁶ mais ici, à échelle grandeur. Le procédé, développé dans la région de Rennes, à notre connaissance, est resté expérimental bien qu'il ait été appliqué à la réalisation d'un projet de maison privée ²⁶⁷. La construction en bauge demeure une culture constructive vivante dans beaucoup de régions du monde et on peut encore très couramment l'observer dans plusieurs pays d'Afrique (Sénégal, Burkina Faso, Madagascar) comme sur le sous-continent indien. Il n'est pas impossible qu'elle connaisse de nouveaux développements dans le cadre de la réalisation de projets d'habitats très économiques.

La terre moulée : architecture en briques moulées ou adobes

La terre est soit façonnée à la main, soit formée à l'aide de moules aux formes diverses pour constituer des blocs ou des briques généralement séchées au soleil avant d'être utilisés en construction. Le matériau est souvent amendé en fibres végétales (herbes ou paille) pour contrôler son retrait linéaire et améliorer sa résistance à la traction. Ce mode d'utilisation du matériau est surtout connu sous l'appellation de bloc "d'adobe", terme originaire du vocable égyptien "thobe" ou "toub", devenu "ottob" en arabe puis assimilé sous la dénomination de "adobe" sur la péninsule ibérique. C'est ce même terme qui sera utilisé en Amérique centrale et latine au delà des époques coloniales espagnoles et portugaises. En Afrique, ce mode d'emploi est plutôt connu sous le terme de "banco". Mais bien avant de construire avec des briques d'adobe de forme carrée ou rectangulaire dont la production correspond à un degré déjà avancé de l'organisation de l'économie productive des sociétés et davantage à la réalisation des premières villes que l'on situe dans l'espace mésopotamien, au IV^{ème} millénaire av. J.C., les briques crues étaient façonnées à la main et déclinaient une morphologie de boule ou de pain de terre, ou conique, ou piriforme. Les plus anciennes de ces briques en forme de pain de terre, striées sur leur face supérieure, comme pour améliorer leur adhérence entre elles ou leur adhérence avec un mortier de terre, ont été repérées au Proche-Orient, en Palestine et dans la vallée du Jourdain, sur le site de Jéricho. Elle seraient datées du VIII^{ème} millénaire av. J.C., soit de l'époque du Natoufien qui précède les cultures néolithiques acéramiques²⁶⁸. Ces pains de terre auraient été utilisés pour élever des petites habitations circulaires, en partie adossées dans le pendage naturel du terrain. Mais il est vraisemblable que le mode de mise en œuvre de ces matériaux façonnés à la main puisse être plutôt apparenté à un empilement, peut-être à l'état plastique, et donc davantage à la technique de la bauge. La petite maison de plan circulaire, de 6 mètres de diamètre, qui a été découverte sur le site de Mureybet, en Syrie, (site occupé de 8500 à 6800 av. J.C.), est aussi en partie creusée dans la pente avec sa seule partie avant exposée à l'air libre. Les murs en terre qui délimitent des espaces intérieurs, comme les vestiges des murs extérieurs, semblent en effet avoir été modelés à la main par empilement de paquets, boules ou pains de terre recouvrant une structure en bois noyée dans leur épaisseur et portant la toiture en périphérie. On ne peut pas vraiment parler encore de briques crues²⁶⁹. Par suite, aux époques Chalcolithiques, approximativement datée du V^{ème} et IV^{ème} millénaires, durant le faciès palestinien Ghassoulien, on observe l'existence de constructions en briques crues sur des fondations de pierre, ornées de peintures murales. Au delà de ces époques, à partir de l'Âge du Bronze qui débute à la fin du IV^{ème} millénaire av. J.C., les influences des civilisations de Mésopotamie qui s'affirment antérieurement à 3000 av. J.C., puis de l'Égypte qui exerce sa domination pendant de longues périodes au cours du II^{ème} millénaire, confirment le développement de la culture constructive de la brique crue de forme parallélépipédique, carrée ou rectangulaire, sur les territoires du Levant ²⁷⁰. Les briques crues piriformes ont été employées en Amérique latine, notamment au Pérou, durant la période initiale (ou formatif ancien) comme en atteste le site côtier central de Rio Seco (1600 av. J.C.) nous donnant à voir des plates-formes remplies de sable et de galets retenues par des enveloppes en briques crues coniques. De même aux époques plus tardives de cette même période, entre le XI^{ème} et le X^{ème} siècle av. J.C., sur le site de Cerro Sechin où s'élève un édifice construit en adobes coniques entouré d'un mur d'enceinte constitué de monolithes de granit gravés et incorporés dans un parement de petits blocs de pierres appareillées. L'emploi de ce type de brique se perpétuera dans cette région de la vallée de Casma, aux époques de l'Horizon ancien (ou formatif, 1000/900 - 200 av.

²⁶⁵ Les maisons les plus récentes construites en application de ce procédé, en France, dans les régions de Vendée, Ille-et-Vilaine, Cotentin et Bretagne, ainsi que celles construites en "cob" dans le Devon, en Angleterre, semblent en effet remonter à cette époque.

²⁶⁶ Jeux d'enfants, développés par les scandinaves, consistant à assembler des petits éléments en plastique de différentes couleurs, généralement de forme parallélépipédique, pour construire des maquettes de maisons ou autres objets.

²⁶⁷ Mme Mayvonne Rigourd, Architecte dplg, Rennes.

²⁶⁸ Mellaart, James, "Earliest civilizations of the Near East", éditions Thames and Hudson, Londres, 1965.

²⁶⁹ D'après Aurenche, Olivier, "Du village à la ville", chapitre "Le Proche-Orient préhistorique", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, 1985, op.cit., pp. 168-168

²⁷⁰ D'après "Les sites du Proche-Orient de la fin de la préhistoire et de la protohistoire", in "Atlas d'Archéologie universel", de David et Ruth Whitehouse, éditions Tallandier, op. cit., p. 94.

J.C.) comme en témoignent les sites de Moxèque, Pallka et Sechin Alto qui nous lèguent de volumineux massifs en briques coniques striées et bâties en position verticale au mortier de boue, parés de pierres en extérieur²⁷¹. La culture constructive de la brique conique est aussi présente en Afrique où elle fut très développée au Mali, connue sous l'appellation de "*Djenné-ferey*"²⁷² et en territoire des *Haoussa* du Nord du Nigeria, région du fameux "*Bakwai*" des neuf Cités-États (X^{ème} et le XIX^{ème} siècle de notre ère). Elle y est identifiée sous le vocable *haoussa* de "*tubali*"²⁷³. L'observation des architectures traditionnelles bâties en terre dans cette zone du Nord du Nigeria, depuis l'État du Plateau (Jos), montre assez typiquement le passage d'une culture constructive en bauge et en façonnage direct (groupe *Rukuba*, par exemple) à la culture constructive en briques *tubalis*, typiquement *haoussa*.. Beaucoup d'habitats, à l'interface de ces cultures, montrent une évolution toute récente vers l'emploi de briques aux formes parallélépipédiques, rectangulaires, qui relègue désormais l'emploi de la *tubali* aux temps révolus ou la réserve à des travaux de restauration d'édifices du patrimoine national classé²⁷⁴. Enfin, on connaît aussi l'existence d'une tradition de culture constructive en briques coniques dans les pays du Moyen-Orient et notamment au Sultanat de Oman dont les territoires prolongent ceux du Yémen, au sud-est de la péninsule arabique. Ce pays doté d'un remarquable patrimoine d'établissements humains en situation d'Oasis, à l'intérieur des terres et dans les vallées qui entaillent la dorsale du Djebel Hadjar, ainsi que d'un patrimoine prestigieux de tours de guet et forteresses dominant ces établissements, témoigne de cette grande tradition constructive en briques coniques. La citadelle de Fort Bahla, site occupé depuis les époques perses sassanides tardives (V^{ème} et VI^{ème} siècles), et qui fut une capitale politique et administrative de cette région en des temps anciens, est aujourd'hui très ruinée. On y peut voir ces masses de murs, dressées avec de telles briques coniques s'élevant à des hauteurs impressionnantes. Le site est classé sur la Liste du Patrimoine Mondial en Périel de l'Unesco est fait aujourd'hui l'objet d'un plan de conservation²⁷⁵.

La culture constructive de la terre moulée sous forme de briques parallélépipédiques, qui répondait à une organisation sociale et économique contrôlée de la production des matériaux pour la réalisation d'édifices en plus grand nombre et pour la construction des premières villes, est confirmée dans l'espace mésopotamien, au V^{ème} millénaire av. J.C. Mais il semblerait que cette culture se soit développée antérieurement, avant l'apparition des civilisations urbaines progressivement inaugurées par les premiers établissements sumériens de la basse plaine du Tigre et de l'Euphrate. Par ailleurs, il semblerait que l'avancée technologique introduite par l'invention de la brique crue moulée soit liée à une évolution de la forme du plan de l'habitat qui passe du plan circulaire au plan rectangulaire. Cette mutation radicale peut être observée au début du VIII^{ème} millénaire sur les sites de Mureybet et de Cheikh Hassan, en Syrie²⁷⁶. Cette production organisée des briques crues peut en effet être observée au Proche-Orient et notamment dans les régions

²⁷¹ Nous avons récemment visité ces sites de la vallée de Casma, en novembre 1996, à l'occasion de la réalisation du "Ier Cours Panaméricain sur la Conservation et la Gestion du Patrimoine Architectural Historique-Archéologique en Terre", conjointement organisé par le Projet Gaia (CRATERRE-EAG/ICCROM), l'Institut pour la Conservation Paul Getty de Los Angeles, États-Unis et l'Institut National de la Culture du Pérou. Une excursion sur les sites de la vallée de Casma nous a permis d'observer de très beaux spécimens de ces briques coniques striées, exposées dans le musée de site de Cerro Sechin, puis de prendre des mesures des dimensions de ce même type de briques sur le site de Sechin Alto qui affichent une base circulaire de 35 à 40 cm pour une hauteur allant parfois jusqu'à 60 cm. Ces dimensions ont semblé très variables et attestent d'un procédé de facture manuel, artisanal, sans moule.

²⁷² In Gardi, B., Maas, P., Mommersteeg, G., "Djenné, il y a cent ans", 1994, op. cit.

²⁷³ Le "*Bakwai*" des Cités-États Hausa du Nord du Nigeria comprenait les villes de Zaria, Kaduna, Daura, Katsina, Kano, Sokoto, Biram, Gobir et Rano qui ont constitué jusqu'aux époques précédant l'indépendance du pays (années 60) des émirats indépendants.

²⁷⁴ Nous avons travaillé dans ces régions entre 1988 et 1993, dans le cadre d'un projet de développement soutenu par le Ministère des Affaires Étrangères de la France, en collaboration avec la Commission Nationale des Musées et Monuments du Nigeria. En visitant le territoire *haoussa*, nous avons constaté que de très rares maîtres-maçons étaient les gardiens de ce savoir-faire de la construction en *tubalis* et aussi en arcs de terre armée de bois d'*azara* qui est une culture propre à ces régions. Quelques jeunes mais rares maçons constituent la nouvelle génération détentrice de ce savoir-faire comme nous pouvions alors le constater sur un chantier de restauration d'une grande salle du palais de l'Émir de Daura. Dans la ville de Jos existe un Musée des Architectures Traditionnelles Nigérianes, le MOTNA, qui réunit une sélection de copie des édifices les plus représentatifs de la typologie architecturale en terre du pays. Ceux qui relèvent de la tradition *haoussa* comme la restitution de la vieille mosquée de Zaria et une partie des murailles de la ville de Kano, ont été construits avec ces briques coniques *tubalis*. Chaque année, après la saison des pluies, on peut observer les équipes d'entretien du MOTNA en train de produire de nouvelles briques *tubalis* et de restaurer les parties des édifices affectées par les pluies. Pour une étude plus détaillée de cette culture constructive, on se reportera à un ouvrage de référence de Dmochowsky, Zbigniew, (lequel fut à l'origine du MOTNA), "*An Introduction to Nigerian Traditional Architecture*", 3 volumes, éditions Etnographica, 1990, op. cit., et plus particulièrement le Volume I.

²⁷⁵ L'origine du site de Bahla est évoquée par Sir Donald Hawley, in "*Oman*", Londres, 1977, p. 124. Dans le cadre des développements de ce plan de conservation, nous avons effectué plusieurs missions en qualité d'expert, à la demande du Centre du Patrimoine Mondial de l'Unesco. Notre première mission consistait notamment à apporter une assistance technique pour la remise en route de la production des briques crues coniques et d'autres types de briques parallélépipédiques destinées à être utilisées pour les travaux de consolidation et de restauration. Le savoir-faire local pour la production des briques coniques ayant totalement disparu, il fallu avoir recours à des techniques de moulage à l'aide de formes tronconiques en métal qui, hélas, donnent des résultats bien différents en regard des briques traditionnelles.

²⁷⁶ Voir : Aurenche, Olivier, op. cit.

d'Anatolie, dès la fin du Néolithique. On connaît bien l'importance de Çatal Hüyük ²⁷⁷ (6400-5600 av. J.C. pour les niveaux XII-o, les plus profonds, sans avoir atteint le sol vierge) qui s'étend sur 13 hectares et qui restitue une culture constructive déjà très élaborée associant le bois et la brique crue. Çatal Hüyük traduit une volonté de conception architecturale à travers les douze niveaux successifs qui ont été fouillés sur la façade orientale du tertre, avec un principe de plan décrivant une structure en nid d'abeilles qui semble se répéter sur chacun des niveaux. Les habitations de plan rectangulaire possèdent chacune leurs propres murs mais sont bâties les unes contre les autres et forment des blocs autour de cours aux dimensions variables. On ne peut repérer ni rues, ni ruelles ou venelles et il semblerait que les occupants aient accédé à leurs habitations ainsi disposées en gradins successifs en passant par les toitures, une échelle donnant dans l'espace de la cuisine. Les murs des pièces principales de chaque habitation sont construits en briques crues de dimensions standard, rectangulaires, attestant *de facto* le principe du moulage organisé. Ces parois de briques sont élevées sur des soles en bois de grosse section, elles-mêmes posées sur des soubassements en briques crues. De gros piliers en bois sont régulièrement interposés dans l'épaisseur de ces murs en briques crues et semblent avoir supporté des poutres pour les toitures plates. Il s'agit donc d'un principe très élaboré de structure en ossature bois hourdée de briques crues qui traduit un degré évolué de la culture constructive. Les murs sont enduits de plâtre et ceux des sanctuaires sont finement décorés de peintures murales représentant des scènes de chasse ainsi que de reliefs également en plâtre qui semblent avoir été régulièrement repeints. D'autres sites datés de la même époque ont été mis au jour en Anatolie (Çayönu, Suberde, Hacilar) et en Syrie (Tell Ramad), ainsi que dans les régions septentrionales de l'Irak et de Iran, qui semblent montrer que l'ensemble de ces sites étaient liés par des relations d'échanges commerciaux. A Tell Ramad, situé à une vingtaine de kilomètres au Sud de Damas, les fouilles ont révélé des niveaux d'occupation datés du VII^{ème} millénaire (niveau I, le plus ancien). On y a découvert des cabanes semi-enterrées, en terre. Dans le niveau II, daté du VI^{ème} millénaire, les fouilles ont révélé "des maisons rectangulaires à parois en briques crues sur fondations de pierre" ²⁷⁸. La culture néolithique ancienne des sites anatoliens semble avoir pris fin aux débuts du V^{ème} millénaire et le centre dynamique anatolien se serait alors déplacé vers l'est, en Mésopotamie du Nord, marquant la naissance de la culture d'Halaf. L'Âge du Bronze ancien (III^{ème} millénaire av. J.C.) montre en effet que les cultures du sud-est anatolien et des territoires orientaux de l'actuelle Syrie sont en étroite contact avec les cités de Mésopotamie.

En Mésopotamie, les premières cultures basées sur l'agriculture irriguée apparaissent dans le Nord, au Néolithique tardif, soit à partir du VI^{ème} millénaire av. J.C., les territoires du Sud n'ayant semble-t-il pas été occupés avant le début du V^{ème} millénaire av. J.C. À la première phase du Nord, baptisée Hassuna-Samarra (5600-4500 av. J.C.), succèdera la culture d'Halaf qui s'étendra sur une grande partie des territoires septentrionaux de Mésopotamie, au cours de la deuxième moitié du V^{ème} millénaire. Ces époques décrivent une nouvelle phase d'évolution de l'habitat qui se traduit par une modification de l'organisation de l'aménagement intérieur, avec un agrandissement notable des espaces. La brique crue semble alors être le vecteur qui autorise cette mutation des structures. Dans la moyenne vallée du Tigre, l'époque de Samarra (V^{ème} millénaire) semble correspondre à l'apparition d'exploitations agricoles de taille plus importante qui révèlent une organisation de leur plan en succession de pièces plus nombreuses distribuées par des circulations intérieures complexes. La culture constructive évolue vers une "massification" des structures avec des solutions de murs en briques crues plus épais stabilisés par des systèmes de contreforts intérieurs et aux angles des édifices qui peuvent vraisemblablement soutenir un étage. Les fouilles du village de Sawwan ont révélé ce type de grandes fermes couvrant une superficie de 150 à 200 mètres carrés, regroupées à l'intérieur d'un mur de clôture et construites en briques crues moulées. Elles montrent l'existence de parfois plus de dix pièces communiquant entre elles en enfilade. Chacune de ces fermes est disposée isolément, ménageant ainsi des espaces entre elles pour circuler librement ou parquer le bétail ²⁷⁹. L'époque halafienne qui a cours durant la deuxième moitié du V^{ème} millénaire et jusqu'au début du IV^{ème} millénaire, marquant le passage à l'époque de El Obeid (vers 3700 av. J.C.), semble traduire une étape de plus grande maîtrise de la culture constructive en brique crue comme peut en témoigner le village d'Abbadah, sur les hauteurs de la chaîne du Zagros, non loin de la haute vallée du Dyala. Les maisons de ce village construit vers 4000 av. J.C., témoignent d'une organisation des pièces autour d'un grand espace central avec un escalier

²⁷⁷ Mellaart, James, "*Çatal Hüyük, a neolithic town in Anatolia*", 1967, op. cit. Le site de Çatal Hüyük demeure le plus grand site néolithique du Proche-Orient. Il a été fouillé au début des années soixante durant quatre campagnes menées en 1961, 1962, 1963 et 1965. Voir : Mellaart, James, "Çatal Hüyük, une ville à l'âge de la pierre polie", in "Les Grandes Civilisations Disparues", éditions de Sélection du Reader's Digest, Paris Bruxelles Montréal Zurich, 1980, 319 p., pp. 6-11. Voir aussi : "Avant les premières villes : le Proche-Orient de 8000 à 300 av. J.C.", in "Le Grand Atlas de l'Histoire Mondiale", éditions Encyclopaedia Universalis, 1981, op. cit., pp. 40-41.

²⁷⁸ Voir : de Contenson, Henri, "Tell Ramad, village syrien des VII^o et VI^o Millénaires", in Revue Archeologia n° 33 de mars-avril 1979, p. 69-73. L'auteur évoque pour ce niveau I des "habitations comportant des foyers et de grands bassins, également en pisé, qui sont probablement des silos". Cette dénomination de "pisé" est sans doute impropre et participe de cette confusion sémantique sur les matériaux et les techniques que nous avons précédemment évoquée. Elle résulte sans aucun doute d'une grande difficulté d'identification du matériau visible à ce niveau car pour le niveau II, daté du VI^o millénaire, l'auteur parle d'une utilisation de la brique crue.

²⁷⁹ Voir : Aurenche, Olivier, Ibid.

qui aurait conduit à un étage. L'un des bâtiments du village, en implantation centrale, peut être distingué par sa taille et un décor original en forme de pilastres. Il peut ainsi témoigner d'une forme de hiérarchisation sociale et constituer une préfiguration d'une architecture de caractère public²⁸⁰. Une autre révolution technique de cette époque semble avoir été la capacité des bâtisseurs en briques crues à réaliser les premières coupoles en encorbellement. De telles structures d'un diamètre de plus ou moins quatre mètres ont été en effet révélées par les fouilles réalisées sur les sites de Tell Arpachiyah, dans le Niveau II de Yarim Tepe et dans les Niveaux XX1 et XVII2 de Tepe Gawra²⁸¹. En Basse Mésopotamie, au début du IV^{ème} millénaire, à Tell el'Oueili, non loin de Larsa, des édifices de taille importante révèlent des systèmes de fondations massifs en briques crues et construites en maillage très serré de murets qui auraient pu fournir une assise solide pour des greniers²⁸². Au cours de la deuxième moitié du IV^{ème} millénaire, les territoires de la boucle de l'Euphrate, dans les régions les plus occidentales du chenal du fleuve en territoire syrien, portent des établissements de caractère urbain qui témoignent de l'existence de brillantes civilisations ayant généralisé la culture constructive de la brique crue. La célèbre cité de Mari²⁸³, dont les niveaux les plus anciens actuellement connus datent du Bronze moyen (III^{ème} millénaire) semble succéder à d'autres établissements antérieurs qui présentent également un caractère urbain et qui ont été découvert beaucoup plus récemment, entre la fin des années 60 et le début des années 70. Il s'agit des sites de Tell Qannas, fouillé par une mission belge dirigée par André Finet, et du site de Habouba Kabira, fouillé par une mission allemande, sous la direction du Pr. E. Heinrich et de Mme E. Stommenger. Ces deux sites voisins sont datés du milieu du IV^{ème} millénaire (vers 3400 ou 3300 av. J.C.) et contemporains de la période mésopotamienne d'Uruk correspondant à la "révolution urbaine". Les deux ensembles qui révèlent des structures massives à niches et redans, en briques crues, semblent résulter d'un véritable transfert de la culture constructive mésopotamienne d'Uruk (située en Basse Mésopotamie) et serait alors des établissements de type colonial²⁸⁴. Les fouilles menées sur le site de Ebla, sur les territoires nord occidentaux de Syrie, par une mission italienne, confirment encore le développement d'une architecture monumentale en briques crues au cours du III^{ème} millénaire, directement influencée par les cultures constructives de Mésopotamie. A dater de ces époques de l'Âge du Bronze Moyen, la construction des villes dans l'espace du Proche-Orient et de la Mésopotamie étendra très largement le rayonnement de la culture constructive de la brique crue et cela jusqu'aux époques babyloniennes et assyriennes avant que la Mésopotamie ne passe sous domination des Perses (fin du VI^{ème} siècle av. J.C.). Cette culture constructive est toujours très présente dans cet espace, aujourd'hui partagé entre l'Iraq et l'Iran, où les architectures vernaculaires et traditionnelles contemporaines peuvent toujours en témoigner.

Mais le mode de mise en œuvre de la terre crue sous forme de briques moulées ne fut pas seulement l'apanage des civilisations du Proche et du Moyen-Orient. On retrouve en effet son emploi dans beaucoup d'autres régions du monde et depuis des temps très anciens ou plus récents. On ne peut omettre de citer ici la civilisation égyptienne qui a commencé à développer cette culture constructive dès les époques pré-dynastiques récentes et à la fin du Gerzéen (3400-3200 av. J.C.) alors qu'entraient en rivalité les deux royaumes rivaux de Haute et de Basse-Égypte occupant respectivement les territoires situés en amont et dans l'espace du Delta du Nil. Des témoignages d'emploi de la brique crue pour cette époque pré-dynastique existent mais elle ne semble pas avoir été utilisée à grande échelle. L'unification de ces deux royaumes par le légendaire Roi Ménès, vers 3200 av. J.C., qui inaugurerait l'époque des premières dynasties pharaoniques (période Thinite), allaient confirmer l'introduction, vraisemblablement sur influence mésopotamienne, puis l'extension de la construction en briques crues dont peuvent témoigner des mastabas funéraires à Saqqarah et Naqada ainsi que des tombes à Abydos²⁸⁵. Même si le processus de pétrification de l'architecture égyptienne est engagé par la construction de la pyramide à degrés de Djoser, à Saqqarah, par Imhotep, pendant la III^{ème} dynastie (à partir de

²⁸⁰ Voir : Aurenche, Olivier, Ibid.

²⁸¹ Voir : Besenval, Roland, "Technologie de la voûte dans l'Orient ancien", 1984, op. cit.

²⁸² Voir : Huot, Jean-Louis, "Le peuplement de la Basse-Mésopotamie", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie", éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 176-177, une restitution de ces possibles infrastructures de greniers, de J.D. Forest.

²⁸³ La découverte du site de Mari remonte à l'année 1933, par une découverte fortuite d'une statue dite "Cabane", du nom d'un lieutenant qui l'a trouvée. La première campagne de fouilles s'est déroulée entre décembre 1933 et mars 1934, sous la direction de André Parrot. Vingt et une campagnes se succéderont jusqu'en novembre 1974 sous la direction de André Parrot, puis la direction de la Mission Archéologique de Mari sera confiée à Jean-Claude Margueron qui continuera les campagnes de fouilles à partir de décembre 1977 et jusqu'à présent. Voir "Les Dossiers histoire et archéologie, "éblouissante richesse de Mari sur l'Euphrate", n° 80 de février 1984, entièrement consacré à Mari.

²⁸⁴ Voir : Margueron, Jean-Claude, "L'émergence de la Syrie à l'aube des temps historiques", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 182-183. Voir aussi : Margueron, Jean-Claude, "Mari ou la "naissance" d'une ville neuve", in Revue "Autrement", n° 55 de la série "Monde", dossier "Cités Disparues, découvreurs et archéologues au Proche-Orient", 1991, op. cit., pp. 133-142. Voir également : "Les fouilles belges du Tell Kannâs sur l'Euphrate en Syrie", "Lorsque la Royauté descendit du ciel", catalogue d'une exposition présentée au Musée royal de Mariemont de septembre 1982 à janvier 1983, puis au Musée de Louvain-La-Neuve, de février à mars 1983, éditions du Musée royal de Mariemont, 1982, 150 p.

²⁸⁵ C'est ce que relève A.J. Spencer, in "*Brick Architecture in Ancient Egypt*", éditions Aris & Phillips Ltd, Warminster, Wilts, Angleterre, photocopie de document non datée.

2660 av. J.C.), puis confirmé par les grandes pyramides de Gizeh et de Meidoum, pendant la IV^{ème} dynastie (à partir de 260 av. J.C.), la culture constructive de la brique crue restera permanente tout au long de l'histoire dynastique égyptienne, jusqu'aux temps de la conquête de l'Égypte par les Assyriens, en 663 av. J.C., et de son annexion par l'empire Achéménide, par Cambyse, en 522 av. J.C. Certes, l'utilisation des briques crues aura été principalement réservée à la construction des habitats populaires alors que les temples, palais et sanctuaires égyptiens furent pour majorité construits en pierres. Mais on relèvera ici l'utilisation de la maçonnerie en briques crues, élevée sur des soubassements de pierre, pour des ensembles de caractère urbain et même pour des villes entièrement nouvelles. Tel fut le cas de la pyramide de Sésostri II (Moyen Empire, XII^{ème} dynastie et début du XIX^{ème} siècle av. J.C.), et de la cité de El-Lahoun (Kahoun), qui a révélé un tissu très dense d'habitat établi à l'intérieur d'une enceinte rectangulaire de briques crues de 400 sur 350 mètres de côtés. Les rues décrivent un tracé orthogonal et la cité est divisée en secteurs résidentiels qui traduisent à l'évidence une hiérarchisation sociale de la population avec, en partie ouest, un quartier de petites maisons d'artisans, mitoyennes, et en partie est, la ville des fonctionnaires. Les deux secteurs sont séparés par un mur de briques crues. Tel fut encore le cas de Deir el-Medineh, cité artisanale de Thèbes édifiée sous le Nouvel Empire (1552-1070 av. J.C., XVII^{ème} à XX^{ème} dynasties) et traduisant le principe d'un tissu de caractère urbain très resserré avec des habitations au plan caractéristique de pièces en enfilade qui sera d'ailleurs repris pour la cité artisanale de Tell el-Amarna²⁸⁶. Quand Aménophis IV-Akhenaton (1372-1354 av. J.C.), qui s'oppose au culte d'Amon, décide de quitter Thèbes et d'édifier une nouvelle capitale pour l'Égypte, Akhetaton (dont le nom actuel est Tell el-Amarna), afin d'y installer le dieu Aton, il choisit une plaine désertique située sur la rive droite du Nil, entre Thèbes et Memphis, en Moyenne Égypte. Les ruines de cette cité qui fut abandonnée, rasée et recouverte de chaux, à la mort du pharaon hérétique, s'étendent sur une quinzaine de kilomètres de long et sur une largeur de presque cinq kilomètres, entre les rives du Nil et d'abruptes falaises calcaires. La pierre n'y fut employée que pour les bâtiments les plus importants, officiels et religieux, qui occupent le centre urbain. Les systèmes constructifs de ces édifices ont associé la pierre à la brique crue. Quant aux quartiers populaires et aux maisons des petits fonctionnaires, qui s'étendent dans la partie nord de la cité, ils furent intégralement construits en briques crues. Les fouilles ont également révélé de riches demeures aux vastes pièces et avec jardins d'agrément, sans doute occupées par des familles nobles, qui furent construites en briques crues. Ces maçonneries de terre furent enduites à la chaux et peintes de vives couleurs²⁸⁷. L'emploi des briques crues, en Égypte, a aussi été réservé à l'édification d'une architecture militaire défensive. C'est ce dont témoignaient remarquablement les vestiges de la forteresse de Bouhen, élevée au Moyen Empire et située sur la deuxième cataracte, avant qu'elle ne fut immergée sous les eaux du Lac Nasser. Il s'agit d'une véritable place forte avec tours, bastions et murs à redans qui souligne le danger que pouvait alors représenter le royaume voisin et méridional de l'Égypte, celui de Koush²⁸⁸. Les briques utilisées pour construire cet édifice sont d'assez petite taille, aux dimensions de 32 x 15 x 8 cm et des poutres de bois ont été posées, à intervalle régulier, dans l'épaisseur des couches de briques²⁸⁹. Enfin, on doit noter que les bâtisseurs égyptiens ont parfaitement maîtrisé l'art de bâtir en voûtes et en coupoles. C'est ce dont témoignent, parmi beaucoup d'autres vestiges, les célèbres Greniers du Ramesseum (Ramses II, XIX^{ème} dynastie), à Louxor. Cet art de bâtir en voûtes et coupoles en briques crues fait partie de la culture constructive égyptienne et notamment des régions de Basse-Nubie, comme on peut encore le voir aujourd'hui dans la région d'Assouan, où elle fut également utilisée à merveille par les bâtisseurs des édifices religieux coptes tel qu'on peut encore l'observer sur les ruines du Monastère de Saint Siméon d'Assouan, construit au X^{ème} siècle ap. J.C. Lorsque l'architecte égyptien Hassan Fathy²⁹⁰ actualisera cette culture constructive des voûtes et coupoles en briques crues et lui donnera un rayonnement international par ses réalisations, à Gourna (1945-1956) et sur ses nombreux projets de villas luxueuses, il ne faisait que prolonger cette très ancienne tradition. Il allait alors inaugurer une nouvelle ère d'existence pour cette culture exceptionnelle qui fait aujourd'hui référence pour l'enseignement des architectes dans plusieurs facultés ou écoles d'architecture du monde²⁹¹.

²⁸⁶ Voir : Pfirsch, Luc, "Urbanisme et architecture civile", chapitre sur l'Égypte, in "Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale" Universalis, op. cit., pp. 122-123.

²⁸⁷ Voir : Pfirsch, Luc, "Urbanisme et architecture civile", op. cit., et Faton, Jeanne, "Akhenaton, Pharaon novateur", in revue "Archeologia", n° 171, octobre 1982, pp. 64-75.

²⁸⁸ Voir : Leclant, Jean, "Abou Simbel et la Nubie", chapitre "L'Égypte et le Soudan", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 206-207.

²⁸⁹ Dimensions mentionnées par A.J. Spencer, évoquant les relevés de Clarke Somers et les travaux de L. Wooley & D.R. Melver, p. 105, op. cit.

²⁹⁰ Fathy, Hassan, "Construire avec le peuple", 1970, op. cit.

²⁹¹ Un bon exemple de pédagogie du chantier fondée sur la pratique de la maçonnerie en briques où les étudiants-architectes réalisent des maquettes à échelle grandeur en voûtes et coupoles, est donné par l'enseignement de 1ère année de l'École d'Architecture de Grenoble avec un exercice intitulé "la cathédrale en chantier" (Prof. Patrice Doat).

La culture constructive de la brique crue a aussi été le vecteur du développement d'un habitat sédentaire puis de l'urbanisation, dans des temps anciens et sous d'autres horizons. On l'observe effectivement en Extrême-Orient, dans la Vallée de l'Indus, dès les époques néolithiques précéramiques et durant la période préharappéenne, au cours du VI^{ème} millénaire av. J.C. Sur les piémonts du Baluchistan (actuel Pakistan), le site de Mehrgarh, dont les niveaux les plus anciens sont datés du VII^{ème} et VI^{ème} millénaires, offre à voir des structures en briques crues décrivant des bâtiments quadrangulaires divisés en quatre à six pièces symétriques, qui ont été excavées par les archéologues. D'autres constructions présentent un système de compartiments ou de caissons qui pourraient être un vaste ensemble de structures de stockage bâties sur des terrasses retenues par des murs de soutènement²⁹². L'urbanisation de l'Indus qui se confirme à la fin du IV^{ème} millénaire et au début du III^{ème} va préfigurer la multiplication de grandes cités dont les principes de conception élaborée, organisée autour de vastes greniers, de grands bains publics et décrivant un tissu dense d'habitat quadrillé par des rues et ruelles recevant en leurs axes des systèmes d'égouts, seront portés à leur apogée avec Mohenjo Daro et Harappa. Dans ces vastes établissements, la brique de terre crue est alors associée à la brique cuite qui constitue un parement de protection. Mais la brique crue restera aussi employée seule, comme principal matériau de construction des établissements humains de cette région, tel qu'en témoigne l'agglomération de Pirak, toujours au Baluchistan, qui couvre 9 hectares et dont la fondation est datée de 1700 av. J.C. Cette ville qui sera occupée jusque vers 700 av. J.C. présente, au début de l'Âge du Fer, soit vers 1100 av. J.C., un tissu urbain très dense constitué d'habitations s'élevant sur deux niveaux dont les murs en briques crues sont percés de niches symétriques²⁹³. Cette civilisation de l'Indus pourtant très développée et prospère, qui a compté près de 250 établissements de caractère urbain, s'est rapidement effondrée entre le XVII^{ème} et le XVIII^{ème} siècle av. J.C. On peut alors observer un glissement des influences harappéennes vers les piémonts himalayens puis en direction de la Vallée du Gange. Dans le millénaire qui suit, la brique crue reste encore le principal matériau de construction puis la naissance de la civilisation védique, dans la moyenne vallée du Gange, à partir du V^{ème} siècle av. J.C., va peu à peu imposer un processus de pétrification de la construction des ouvrages publics, la brique de terre n'étant alors réservée qu'aux habitats populaires. C'est ce dont témoigne encore l'Inde contemporaine, dans beaucoup de ses régions.

Enfin pour conclure cette approche panoramique de l'histoire de la culture constructive de la terre moulée, nous évoquerons les civilisations des régions côtières de l'Océan Pacifique, en Amérique latine, poursuivant notre propos introductif sur des époques qui précédaient l'emploi de la brique crue moulée et privilégiaient l'emploi de la brique conique façonnée à la main (Cerro Sechin et Sechin Alto). Ainsi, et toujours au Pérou, les formes urbaines primitives apparaissent dès l'Horizon moyen, soit entre 800 et 1100 ap. J.C., ce qui traduit un écart considérable dans le temps en comparaison des civilisations que l'on a précédemment citées. Cette urbanisation est notamment développée par la culture Moche qui généralisera l'emploi de la brique crue moulée dans des formes en bois. Mais cette culture de la brique crue moulée, de forme rectangulaire, fut développée antérieurement, à l'époque de la Culture Virú, entre le III^{ème} siècle av. J.C. et le III^{ème} siècle ap. J.C., le matériau étant alors moulé dans des formes en roseaux ou bambous ligaturés pour confectionner les premiers caissons-moules²⁹⁴. Par suite, la construction de grands centres cérémoniels marquent les époques de l'Intermédiaire ancien, entre 200 et 800 ap. J.C. Les plus beaux exemples de ces centres sont les fameuses *Huacas* du Soleil et de la Lune, élevées en briques crues, dans la Vallée du Moche, près de la ville actuelle de Trujillo. Les travaux de l'archéologie péruvienne semblent confirmer l'hypothèse de la construction d'ensembles résidentiels dressés sur des plates-formes successives²⁹⁵. Ces ensembles n'ont gardé que des fonctions résiduelles, en tant qu'aires funéraires sacrées, au cours de l'Horizon moyen alors que d'autres agglomérations grandissaient à ces époques de Culture Moche, préfigurant les grandes villes qu'allaient édifier la civilisation des Chimú. Celles-ci rassembleront des milliers d'habitants dans des ensembles résidentiels et administratifs couvrant plusieurs kilomètres carrés. Les villes de El Purgatorio, dans la vallée de la Leche et de Chan Chan, dans la vallée du Moche, en bordure de l'Océan Pacifique à la périphérie de Trujillo, témoignent d'une apogée de cette urbanisation entre 1100 et 1300 ap. J.C.

²⁹² Voir : Jarrige, Jean-François, "Les débuts de l'économie agricole", chapitre "Le monde indien", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 240-241.

²⁹³ Voir : Jarrige, Jean-François, "Des villages du Baluchistan aux villes de l'Indus" et "Le II^{ème} millénaire ou la seconde révolution agricole", chapitre "Le monde indien", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 242-245.

²⁹⁴ On peut très bien observer ce striage laissé par l'empreinte des caissons-moules sur les parements des briques crues de ces époques de culture Virú, particulièrement sur un site que nous avons visité en novembre 1996, celui de El Castillo de Tomaval qui décrit une pyramide impressionnante élevée à 50 mètres de hauteur, dans la Vallée du Virú. Ces briques présentent des dimensions variables avec un grand parement de 25 x 35 cm alors que d'autres mesurent 60 x 40 cm sur ce même grand parement. Voir aussi : Hoyle, Ana Maria, Carcelen, José et Saavedra, Federico, "Conservation of the Tomaval Castle", in "Communications de la 7^{ème} Conférence Internationale sur l'Étude et la Conservation de l'Architecture de Terre", "Terra 93, Silves, Portugal, éditions de la DGEMN du Portugal, 1993, 659 p., pp. 222-227.

²⁹⁵ Cette hypothèse a été débattue avec l'archéologue Ricardo Morales, actuellement responsable des fouilles de la Huaca de la Luna, Valle del Moche, que nous avons rencontré en novembre 1996, à l'occasion du Cours Panaméricain sur la Conservation et la Gestion du Patrimoine architectural Archéologique-Historique en Terre, PAT 96.

Chan Chan qui s'étend sur 20 kilomètres carrés, divisée en une douzaine de quartiers résidentiels successifs, aurait abrité jusqu'à 40000 habitants. Chacun de ces quartiers fut la résidence d'un souverain Chimú et était abandonné à sa mort, gardant une fonction résiduelle de sanctuaire, pour en édifier un suivant. Le plus fameux d'entre eux, le quartier Von Tschudi, du nom de l'archéologue allemand qui l'a fouillé, décrit un degré de complexité très élaboré des structures entièrement bâties en briques crues organisées autour de vastes cours, avec des quartiers de salles d'audience, des quartiers de résidence et d'autres de stockage des denrées agricoles. La décoration de ces structures en briques crues, avec des motifs zoomorphes inspirés de la faune locale, en forme de poisson et d'oiseaux, est d'une rare beauté²⁹⁶. Puis, les Incas, qui s'étaient installés dans la plaine de Cusco au XII^{ème} siècle ap. J.C., étendirent leur influence au delà des territoires des hautes terres andines et s'attaquèrent au grand empire Chimú. Ils soumirent Chan Chan en 1450 ap. J.C. en ayant pris le contrôle de l'eau. Lorsque l'Inca Tupa Yupanqui entra en vainqueur dans la ville côtière, on dit qu'il fut stupéfait de sa beauté. Les Incas eux-mêmes ont continué à développer la culture constructive de la brique crue et la plupart de leurs établissements côtiers en témoignent, comme la cité de Tambo Colorado, dans la Vallée du Pisco. Mais également pour la construction de leurs établissements andins en élevant des maçonneries en brique crues sur des soubassements dressés en appareils de pierre mégalithiques. Le très beau site de Raqchi, avec son Temple de Wiracocha, situé à 120 kilomètres au sud-est de Cusco, témoigne de cette culture constructive mixte que les Incas ont largement utilisée. L'aire archéologique de Raqchi s'étend sur 7,5 kilomètres carrés et le temple de Wiracocha qui couvre une aire de 92 mètres de long sur 25 mètres de large élève des murs bâtis en briques crues sur un soubassement de pierre de 1,20 à 1,80 mètres d'épaisseur. Les hypothèses de restitution proposées fixent la hauteur du mur axial de la structure à plus de 16 mètres de hauteur²⁹⁷. Les époques de colonisation espagnole qui suivront l'anéantissement de l'Empire Inca, après le débarquement de Hernando Cortez à Tumbes, vont perpétuer la culture constructive de la brique crue, pour l'édification des habitats, toutes classes sociales confondues, comme de nombreux édifices publics ou de caractère religieux (églises), dans l'ensemble des territoires qui étaient administrés par l'empire déchu. Le patrimoine architectural, urbain et rural, du Venezuela au Chili, jusqu'aux époques les plus récentes précédant l'introduction des matériaux modernes depuis la fin du XIX^{ème} siècle, en fourni des milliers et milliers de témoignages.

La plupart des régions du monde que nous avons évoquées, ont conservé une culture vivante de la brique crue moulée, que ce soit sur le continent africain, le sous-continent indien, la Chine, les Amériques latine et centrale et également le Grand Sud-Ouest des États-Unis d'Amérique. Dans cette dernière région, la fin du XIX^{ème} siècle marquait une évolution considérable de la production des "adobes" avec des équipements mécanisés. Hans Sumpf, issu d'une famille de colons allemands installée à Fresno, en Californie, imaginait une pondeuse munies de moules à déplacement hydraulique, autotractée, qui allait révolutionner la technologie de production. Cette fabrique, toujours opérationnelle²⁹⁸ reste un modèle du genre qui s'est multiplié dans l'ensemble des États du Sud-Ouest, en Californie, au Colorado, au Nouveau Mexique, en Arizona et jusqu'au Texas. Mais, la production manuelle, à l'aide de moules à simple compartiment, comme dans les temps les plus anciens, reste aussi d'actualité. Elle est à nouveau mobilisée dans beaucoup de pays en développement pour permettre la réalisation d'un habitat économique pour les populations les plus démunies, à bas revenus. Pour une grande partie de la population mondiale, l'adobe, même produite de façon traditionnelle, demeure une technologie d'avenir.

La terre extrudée : architecture en éléments extrudés

Il s'agit d'un mode de préparation de la terre crue relativement récent dans l'histoire si on le compare aux autres procédés précédemment évoqués. Dérivée des modes de production de l'industrie de la brique cuite qui l'utilisait déjà couramment au XIX^{ème} siècle, l'extrusion de la terre crue par des étireuses munies de filières²⁹⁹ pour confectionner

²⁹⁶ Voir : Schaedel, Richard, P., "Naissance des grandes cités andines", chapitre "L'Amérique du Sud", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 368-369. Voir également : Hoyle, Ana Maria, "Chan Chan, Sintesis Urbana Andina", septembre 1996, 31 p. et 26 planches de plan et photographies du site de Chan Chan.

²⁹⁷ Voir : Carazas Aedo, Wilfredo, "Raqchi y el Templo de Wiracocha", monographie, CEAA-Terre, École d'Architecture de Grenoble, 6 p. et 5 planches photographiques, Grenoble, avril 1997.

²⁹⁸ Nous avons visité cette fabrique impressionnante en 1981, alors que nous menions une enquête dans le cadre d'une recherche réalisée sur commande du Plan Construction, Paris. La production est organisée autour d'une centrale de broyage, criblage, malaxage et stabilisation de la terre au bitume, dirigée par un seul homme à l'aide d'un tableau de commande. Des petits engins de transport vont ensuite servir plusieurs de ces machines pondeuses autotractées et la production journalière d'adobes, en période de pointe, se situe à hauteur de 9 à 10000 blocs au rythme moyen de 3000 blocs par jour.

²⁹⁹ Ce terme désigne la bouche de sortie de malaxeurs, manuels ou mécanisés, qui donne sa forme au matériau de terre cru préalablement malaxé lorsque celui-ci est évacué par extrusion sur une table ou une bande transbordeuse mécanisée. Selon la configuration de la filière, le matériau peut être façonné en boudins pleins, de section carrée ou rectangulaire, présenter des trous de section ronde ou carrée (pour les briques perforées) ou avoir une configuration alvéolaire (pour les briques dites "creuses"). La filière est en général équipée d'un système de découpe, par fil métallique tendu, actionné automatiquement qui débite le boudin extrudé en éléments de dimensions régulière en longueur.

des blocs d'adobe découpés, des boudins ou pains de terre, a été utilisée dans divers pays, notamment après la Seconde Guerre Mondiale. On connaît des exemples de ce procédé aux États-Unis d'Amérique, en Allemagne où fut développé un mode de construction en pains de terre extrudés³⁰⁰ et plus récemment des applications expérimentales à l'Université de Kassel, au *Gesamthochschule* ou GHK³⁰¹. En France, le procédé d'extrusion de la terre crue a fait l'objet de recherches simultanément menées par le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) et l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rennes qui donnaient lieu à la mise au point de briques et de panneaux de terre crue stabilisée et extrudée connu sous le nom de "*Stargil*". Mais ce procédé n'a pas connu les développements espérés par les chercheurs bien qu'une unité de production ait été installée³⁰². Par contre, des procédés d'extrusion de briques d'adobe stabilisées à l'asphalte ont été imaginés aux États-Unis d'Amérique, aux lendemains de la Seconde Guerre Mondiale avec la mise au point de systèmes de production mobiles regroupant les équipements nécessaires sur la plate-forme arrière d'un camion. Une revue spécialisée sur la construction en adobe et en pisé, éditée au Nouveau Mexique dans les années 80, mentionnait toujours l'existence de ce procédé qui semblait répondre à une demande sur le marché local et régional³⁰³. Ce principe d'extrusion de la terre crue sous forme de briques retient toujours l'intérêt des chercheurs et des constructeurs en terre qui travaillent en situation de développement sur les questions de l'habitat économique. Certains pensent même qu'il serait intéressant de réactualiser des procédés d'extrusion à partir de cuves de malaxage actionnées par traction animale et des expériences ont été développées dans ce sens, en Inde ou à Cuba, par exemple.

La terre coulée : architecture en béton de terre ou en éléments de terre coulée en forme et place

Les origines de cette technique de la terre coulée en coffrages peuvent être assimilées à un procédé de construction en bauge coffrée qui a été développé dans quelques rares pays. On en connaît des exemples en Europe, notamment en Angleterre, dans le Devon³⁰⁴. Mais, dans sa forme moderne, le principe de la terre coulée a été principalement développé aux lendemains de la Seconde Guerre Mondiale³⁰⁵. La terre, à l'état liquide, de granularité assez sableuse voire graveleuse, est coulée dans des coffrages, comme un béton maigre, ou dans des moules à compartiments multiples. Des réalisations expérimentales en application de ce procédé, pour la réalisation de murs monolithiques coulés en place en couches successives - principe permettant d'augurer une plus grande rapidité d'exécution et donc une réduction des coûts de construction du gros œuvre en terre crue - ont été tentées sur des chantiers, en pays africains³⁰⁶.

³⁰⁰ Il s'agit de la méthode dite de "Dünner" dont l'appellation est dérivée du nom d'un missionnaire allemand qui l'aurait développée à son retour au pays, aux lendemains de la Seconde Guerre Mondiale, après un séjour en pays africains et qui aurait ainsi confectionné des pains de terre extrudés mis en œuvre à l'état plastique, par empilement, pour confectionner des parois de remplissage non porteuses de construction en ossature bois. Voir aussi : Schöttler, W., "*Das Dünner Lehmverfahren*", in "*Natur Bauweisen*", Berlin, 1948.

³⁰¹ Ce procédé d'extrusion de boudins de terre de longueur moyenne (1 mètre à 1,50 mètre) a été développé par le Professeur Docteur Ingénieur Gernot Minke, du GHK, en vue de réaliser des systèmes de cloisons non porteuses permettant de concevoir des espaces de configuration souple ou organique sous une toiture portée par des poteaux en bois. Nous avons visité ces chantiers expérimentaux en 1982, à Kassel et pu voir un prototype en construction qui associait ce principe d'une toiture soutenue par des poteaux en bois et recouverte de terre engazonnée. Une enveloppe extérieure, protégée par un large débord de toiture, était constituée de murs en pisé coffrés, compacté par un engin vibrant autotracté et les cloisons intérieures étaient effectivement réalisées en application de ce principe constructif de boudins de terre crue extrudés. A ce stade expérimental, ce matériau posait des problèmes de retrait au séchage qui créait des fissuration. Depuis lors les expérimentations successives de Gernot Minke ont permis de mettre au point ce procédé qu'il a eu l'occasion d'utiliser sur plusieurs réalisations architecturales de maisons privées dont la sienne entre autres. L'utilisation du procédé a été étendue à d'autres systèmes constructifs que les seules parois de cloisons non porteuses comme des coupoles et des voûtes bâties sans mortier. Mais les applications demeurent encore limitées.

³⁰² Le "*Stargil*" a été mis au point dans au début des années 80 par un laboratoire de recherche et d'expérimentation dirigé par le Professeur Ingénieur Laquerbe. Les éléments extrudés, sous forme de briques, dans un premier temps, puis sous forme d'éléments verticaux de plus grande longueur permettant de confectionner des panneaux de remplissage d'ossatures de structure en béton ou en acier, étaient stabilisés par un mélange de ciment (environ 15%) et de mélasse. Leur mise en œuvre exigeait l'emploi d'une colle spéciale. Le bilan énergétique de la production de ces éléments ayant paru intéressant (50 % de réduction des énergies en comparaison avec l'industrie de la terre cuite), des tentatives d'exportation de ce brevet stargil ont été faites, en direction des pays en développement, en Afrique, mais le degré de sophistication trop élevé du contrôle de la qualité des production n'a pas permis le développement attendu de cette industrie.

³⁰³ Il s'agit de la revue "*Adobe Today*", créée par Joe Tibbets qui rendait compte régulièrement de l'activité de production industrielle des matériaux et des réalisations des entreprises et des architectes du Nouveau Mexique et d'Arizona, au début des années 80. "*Adobe Today*" a été ensuite cédée par son fondateur à un autre éditeur et prit la dénomination de "*Earth builder*" pour être de nouveau vendue à un autre groupe d'édition au début des années 90 et être intitulée "*The Adobe Journal*"

³⁰⁴ John McCann, dans son petit ouvrage intitulé "*Clay and Cob Buildings*", éditions Shire Publications Ltd, Princes Risborough, 1983, réédité en 1995, 32 p., mentionne l'existence de cette technique sous l'appellation de "*Shuttered Earth*", p. 7, en précisant qu'elle permet de construire des parois plus minces et de configuration bien réglées pour les parements visibles et pour les angles.

³⁰⁵ On connaît l'existence d'un projet d'édifice public, l'hôpital Adriano Jorge, qui a été construit en terre coulée, à Manaus, au Brésil, en 1950. Le bâtiment est de taille importante puisqu'il couvre une superficie de 10800 mètres carrés.

³⁰⁶ Des tentatives ont été faites, en Algérie et en Côte d'Ivoire. Dans ce contexte, un ingénieur dénommé David a mis au point une préfabrication d'agréments en terre stabilisée de diamètre varié qui, après séchage sont mêlés à un mortier de terre stabilisée liquide, le matériau étant ensuite coulé en coffrages.

La terre coulée a été aussi appliquée pour la production de petits éléments de maçonnerie moulés en place, sous forme d'éléments-créneaux, les vides laissés entre eux étant remplis dans un deuxième temps. Ou encore pour la réalisation de sols ou pavements en terre stabilisée coulée, comme l'on réaliserait une dalle ou une chape de béton. Le problème le plus important à résoudre est celui du retrait linéaire et de la fissuration, autant pour la réalisation de murs en béton de terre banchée coulée que pour les sols. La stabilisation du matériau dans la masse, avec des liants hydrauliques (ciment ou chaux), des résines ou des plastifiants, mais aussi avec des matériaux organiques comme des excréments d'animaux, a pu apporter des solutions satisfaisantes mais toujours difficiles à contrôler quant à la régularité de qualité d'exécution. Ainsi, le principe a-t-il davantage été développé dans la direction du moulage en place, ou au préalable, pour de petits éléments servant notamment à réaliser des pavements de sols intérieurs, ou encore pour des aménagements paysagers de jardins. Ces éléments peuvent être teintés par l'ajout de colorants minéraux ou artificiels. On en connaît des applications aux États-Unis d'Amérique³⁰⁷.

La terre-paille : architecture en structure bois et terre-paille coffrée ou en éléments de terre-paille préalablement moulés

Il s'agit d'un procédé d'utilisation de la terre sous forme de barbotine d'argile liquide mêlée à de la paille de céréales de tous types, blé, orge, seigle ou escourgeon, ou même à des herbes, ou encore à de la bruyère. Ces types de dégraissant végétal sont en général très abondants et le matériau terre-paille présente en effet un aspect très fibreux. La littérature technique allemande de l'après Seconde Guerre Mondiale mentionne cette technique, généralement sous l'appellation de "*Lehmständerbau*", ou "construction en terre et poteaux" ou encore sous le vocable de "*Leichtlembau*" ou "construction en terre-paille"³⁰⁸. La culture constructive de la terre-paille est en effet assez typiquement allemande et consiste à coffrer ce mélange de barbotine argileuse et de paille entre de simples planches le plus souvent maintenues par des "gros de mur" en bois cloués ou des serre-joints. Le matériau est mis en œuvre en couches successives, légèrement compactées, et sert à remplir les vides laissés entre les éléments d'une ossature en bois qui constitue la structure porteuse de l'édifice. Les parois non porteuses ainsi constituées sont épaisses de 20 à 25 cm. Ce qui distingue le procédé de la "terre-paille" du "torchis", car il s'agit aussi d'un garnissage de structure, comme pour un colombage, c'est bien la constitution différente du matériau. Mais la littérature allemande fait aussi état de la réalisation de bâtiments en murs porteurs de terre-paille, épais de 30 à 40 cm, généralement de plain-pied. Ce qui distingue la possibilité d'une utilisation pour un remplissage non porteur ou pour des murs porteurs, c'est la densité du matériau terre-paille qui peut-être en effet modulée à souhait très facilement par le seul fait du compactage. Ce matériau a été aussi employé pour réaliser des éléments de plancher sous forme de hourdis ou de "fusées" de terre et plus récemment, grâce aux faibles densités qu'il est possible d'obtenir (600kg/m³), sous forme d'isolant thermique pour des doublages de murs porteurs construits en autre matériau, ou en toiture, entre le chevronnage. Un jeune architecte allemand a remis en actualité ce procédé de construction au début des années 80³⁰⁹ et a réalisé plusieurs projets d'habitations privées ainsi que des ouvrages publics ou encore des chantiers de restauration d'édifices anciens à ossature en bois du type colombages. Son architecture initiale, qui mettait en œuvre un procédé de banchage entre poteaux, a considérablement évolué pour appliquer désormais le principe d'un remplissage d'ossatures en bois et panneaux de contre-plaqué, en petits éléments ou briques de terre-paille préfabriquées, bâties au mortier de barbotine argileuse en parement intérieur. Des projets récents ont aussi été réalisés en France³¹⁰ mettant en application le procédé de terre-paille qui semble retenir l'intérêt d'une nouvelle clientèle se situant dans la mouvance de la "bioconstruction" ou architecture "écologique" et qui laissent à penser que la technique pourrait davantage se développer à l'avenir. Des industriels du bâtiment³¹¹ en Allemagne, y songent sérieusement et ont déjà mis au point des composants en terre-paille préfabriqués qui sont proposés à la vente aux entreprises ou aux autoconstructeurs.

La terre en garnissage : architecture en structure bois, clayonnage et torchis

La terre crue, utilisée à un état assez plastique, est mêlée de fibres végétales ou de brindilles, puis elle est appliquée sur un support du type lattage en bois ou roseaux, bambou, tressage de branches, pour garnir une structure porteuse préalablement dressée en bois. Il s'agit du mode de mise en œuvre de la terre crue qui est sans aucun doute le plus

³⁰⁷ Un architecte entrepreneur du Nouveau Mexique a utilisé ce procédé sur ses réalisations d'habitat privé. Voir : Schultz, K., "*Adobe craft illustrated manual*". Castro Valley, Adobe Craft, 1982.

³⁰⁸ Voir : Fauth, Wilhelm, "*Der praktische Leimbau*", éditions Singen-Hohenwiel, Weber, 1948, entre autres ouvrages de cette époque qui compte beaucoup d'autres auteurs comme Niemeyer, Wagner, Pollack et Richter.

³⁰⁹ Il s'agit de Volhard, Franz, "*Leichtlembau, alter Baustoffneue Technik*", 1983, op. cit.

³¹⁰ Un ensemble de quatre logements a été construit dans le cadre du projet expérimental et pilote du "Domaine de la Terre" de l'Isle d'Abeau, près de Lyon, en 1983-85, conçu par les architectes Paul Wagner et Nicolas Widmer (Gap). D'autres maisons ont été réalisées par des autoconstructeurs.

³¹¹ Il s'agit de Peter Breidenbach, à Wiersen, en Allemagne, qui a mis au point ces composants sous le nom de "*Claytech*".

ancien, pratiqué par l'homme bâtisseur depuis les époques préhistoriques pour la construction de son habitat alors de conception sommaire et précaire. L'avènement du Néolithique et la construction des premiers villages de caractère sédentaire allaient considérablement développer ce mode de construction des habitats en bois et végétaux tapissés puis hourdés de torchis et favoriser progressivement son amélioration. Tous les sites les plus anciens, dans quelque région du monde que ce soit, attestent de l'existence de cette technique de construction généralement repérée par les trous des poteaux en bois qui demeurent et délimitent l'implantation des habitats. Entre ces poteaux étaient le plus souvent dressés des clayonnages, réalisés en petites perches fichées dans le sol qui recevaient un tressage végétal ou de fines baguettes entrelacées, recouvert par suite de terre argileuse. Les travaux de l'archéologie européenne nous ont révélé de multiples exemples d'application de cette culture constructive du torchis pour des établissements humains datés de la fin du IV^{ème} et du III^{ème} millénaires. Mais il n'est pas toujours aisé de situer le passage d'un habitat totalement bâti en bois et autres matériaux végétaux d'un habitat en bois, végétaux et torchis de terre argileuse mêlée d'herbes ou de paille. En effet, si l'on prend l'exemple du célèbre site lacustre du "Village des Baigneurs" de Charavines, daté de 2700 av. J.C., situé au bord du Lac de Paladru, en Isère, France, et qui fut sans doute l'une des plus importantes découvertes de ces dernières décennies de l'archéologie française sur son territoire, on remarquera que les rapports d'activité des équipes de fouille ne précisent pas vraiment la nature du matériau de remplissage des parois³¹². Les fouilles réalisées sur des sites établis sur la terre ferme offrent généralement davantage de matériel et d'indices pour préciser la nature des matériaux constituant les parois réalisées en garnissage. C'est le cas de plusieurs sites qui ont été fouillés en Alsace, par exemple, et qui confirment, au delà des époques du Mésolithique (10000-5000 av. J.C.), l'implantation d'une population nouvelle, les "Danubiens", dont le faciès culturel est originaire du bassin du Danube et qui ont traversé l'Europe centrale en vagues successives pour se scinder ensuite en deux courants distincts sur les régions situées au nord du Lac de Constance. Cette implantation est située au cours du V^{ème} millénaire av. J.C. Les Danubiens sont connus pour avoir amené avec eux l'usage de la pierre polie et de la céramique dite "rubanée". L'Alsace compte de très nombreux sites qui témoignent de cette culture comme à Habsheim, Ensisheim, Colmar, Rosheim, parmi les principaux. L'archéologue Joël Schweitzer³¹³ décrit ainsi leur habitat : "Ces villages se caractérisent par un semis de cabanes plus ou moins parallèles, souvent orientées nord-est/sud-ouest, dont les dimensions sont importantes. Rarement entourées d'une enceinte (...), elles voisinent avec d'innombrables excavations-dépotoires disséminées sur toute l'aire de l'habitat. (...) Typologiquement, la cabane danubienne se dessine toujours par un vaste quadrilatère (de plan souvent rectangulaire) dont la longueur est proportionnellement exagérée par rapport à la largeur, atteignant en moyenne une longueur de 25 m pour une largeur de 8 m comme à Köln Lindenthal (Cologne) et Daseburg (Allemagne). Certaines atteignent une longueur de 40 m pour une largeur de 10 m comme à Postolprty en Tchécoslovaquie. Les pourtours sont délimités de trous de poteaux circulaires, répartis à égales distances, de diamètre assez fort (entre 0,50 et 1 m) descendant profondément dans le sol (jusqu'à 1,50 m comme à Köln Lindenthal). (...) Parallèlement à ces cabanes (...) on retrouve de nombreuses fosses au plan irrégulier dont le remplissage cendreux et noirâtre renferme une multitude de déchets de toutes sortes (...). D'après de nombreuses interprétations, il s'agirait de fosses creusées pour l'extraction de l'argile nécessaire à la confection des cloisons qui auraient par la suite fait office de dépotoir." Il faut rappeler ici qu'en 1936, au début des fouilles effectuées à Cologne Lindenthal, qui réfèrent ce type d'habitat de la céramique rubanée, on avait émis l'hypothèse que les habitants logeaient dans les fosses (à cause de la richesse du matériel qui y était trouvé), qui auraient été des habitations aux contours sinueux alors que l'on considérait les constructions rectangulaires comme greniers, magasins et granges. D'autres interprétations précisent davantage la nature des constructions dressées en superstructures à pieux de bois et l'emploi de la terre crue en garnissage de clayonnage pour réaliser les parois. Citons Olivier Paret³¹⁴ : "Donc, si ces constructions rectangulaires ont été des habitations avec des parois enduites à la glaise et avec un revêtement de plancher en glaise, elles nécessitaient une quantité considérable de ce matériau. L'argile était naturellement extraite au plus près. Et si les fosses de glaise, à Cologne, sont souvent, spécialement dans la partie nord du village, orientées S -S-E / N.-N-O., ce doit être en rapport avec l'orientation des maisons rectangulaires qui est la même." Si la dimension des villages du IV^{ème} millénaire, en Europe, est beaucoup plus modeste qu'au Proche-Orient,

³¹² Les fouilles de ce site lacustre ont été menées par une équipe dirigée par Aimé Bocquet à partir du début des années 70. Voir "histoire et archéologie", les dossiers, "La Vie Au Néolithique Charavines un village au bord d'un lac il y a 5000 ans, n° 64 de juin 1982. Citons : "Pour construire une maison, trois ou quatre alignements de pieux régulièrement espacés de 1,20 m à 1,50 m sont enfoncés dans la craie lacustre. (...) L'ossature de la maison était ainsi constituée de montants très solides qui pouvaient supporter les poutres du toit, elles aussi prises dans des troncs de sapin, fins et élancés. Les assemblages entre les éléments verticaux et obliques ou horizontaux ne semblent pas avoir été taillés, en tenon et mortaise par exemple, ou bien chevillés. (...) La plupart des pieux et madriers devaient être ligaturés par des cordes et des lianes (clématites) qu'on retrouve en grande quantité dans les sols d'habitat. Entre les pieux extérieurs sont disposées des baguettes verticales (souvent en noisetier) peu enfoncées et retrouvées à la fouille ; elles maintenaient des éléments végétaux (branches, roseaux, mousse ...) pour former les murs." Il n'est en effet pas fait mention ici d'emploi d'une terre argileuse pour réaliser ces parois mais la situation lacustre du site ne peut en effet permettre d'en attester l'usage ni même peut-être d'envisager à en rechercher la présence.

³¹³ Schweitzer, Joël, in "L'habitat rural en Alsace, des origines à l'an 800", Saisons d'Alsace n° 64, 23^{ème} année, 124 p., pp. 8-30.

³¹⁴ Paret, Olivier, "Le Mythe des cités lacustres", Paris, Dunod, 1958, cité par Catherine Louboutin, in "Au Néolithique, les premiers paysans du monde", Collection Découvertes, éditions Gallimard, Paris, 1990, 176 p., p. 147.

ne regroupant guère plus que dix à trente maisons au maximum, et couvrant rarement plus que dix hectares, on a pu repérer des établissements beaucoup plus importants. C'est le cas à Passo di Corvo, en Italie, qui est considéré comme l'un des plus grands villages néolithiques en Europe, s'étendant sur quarante hectares et regroupant une centaine d'habitations. De même, à Bilany, en Tchécoslovaquie, mis au jour vers 1960, qui comprenait plus de cent maisons, sur sept hectares, enchevêtrées en niveaux successifs d'occupation. Ce sont là aussi des habitats du même type que ceux précédemment décrits, à plans en longueur et disposés en semis parallèle. Le site de Habatesti, en Roumanie, qui appartient à la civilisation de Cucuteni, des mêmes époques du IV^{ème} millénaire, témoigne d'une disposition similaire mais avec un système de délimitation périphérique, ou de protection en fossés creusés³¹⁵. Ce modèle de maison en longueur, en bois et torchis a été dominant, semble-t-il, dans la plus grande partie de l'Europe néolithique. Mais l'on a aussi trouvé des structures d'habitat organisé en village groupé, de forme ramassée, en configuration de plan général carré, rassemblant une vingtaine de maisons, avec un système de protection en palissades et fossés. C'est le cas du site de Poljanica, en Bulgarie, également construit au IV^{ème} millénaire. Les habitats sont en torchis et comportent une, deux ou trois pièces divisées par des cloisons en poteaux et clayonnages enduits d'argile³¹⁶. Les sites grecs du milieu du Néolithique récent (4400-3000 av. J.C.), restituent d'autres types de structures avec des systèmes de construction qui font appel à l'emploi d'une gamme plus étendue de matériaux, la pierre, le bois, la brique de terre crue et le torchis. Les collines de Dimini et de Seslo, en Thessalie, témoignent de l'existence de sociétés plus hiérarchisées, avec en leurs sommets et au cœur des établissements, une demeure plus vaste dotée d'un vestibule ouvert au sud et de deux pièces, dont la première, plus grande, contient le foyer. Seslo est un village en acropole doté d'enceintes concentriques en pierres qui protègent un habitat de conception plus précaire, construit en bois et torchis. Le même principe a été trouvé dans les niveaux d'occupation les plus anciens de Troie ou Troie I, daté de 3500-2600 av. J.C.³¹⁷. A Dimini, c'est le même principe d'acropole mais avec des enceintes bâties en briques crues sur des soubassements de pierre. Les habitations protégées sont par contre construites en bois et hourdées de torchis. Dans la zone tempérée d'Europe, aux époques protohistoriques, qui correspondent aux Âges des métaux (entre 3000-2500 av. J.C.), les maisons à plan rectangulaire sont de plus en plus répandues et le système de construction demeure toujours identique à celui des temps néolithiques mais beaucoup plus élaboré. Des poteaux de bois enfoncés dans le sol forment l'armature des clayonnages enduits d'argile ou de torchis et soutiennent une toiture en bâtière de chaume. Mais les techniques d'assemblage des bois se développent avec les mi-bois, les tenons et mortaises alors que les queues d'aronde n'apparaîtront qu'à l'Âge du Bronze. En règle générale, l'élément défensif est une caractéristique de l'habitat des époques protohistoriques, sous forme d'enceintes, de fossés et de remparts élevés en pierre, en bois ou en terre³¹⁸.

L'Age du Bronze (1800-750 av. J.C.), correspond à une intensification progressive du peuplement dans l'ensemble des territoires de l'actuelle Europe, phénomène qui s'affirmera en période finale, entre les XII^{ème} et VIII^{ème} siècles. Sur les territoires occidentaux, en Alsace, Joël Schweitzer³¹⁹ note que "deux types d'habitats coexistent, l'un sur les hauteurs vosgiennes ou jurassiennes, en *"oppidum"*, composé de vastes ensembles ordonnés de maisons regroupées derrière un rempart de pierre, et de bois, l'autre en plaine ou sur des coteaux loessiques." La période du Bronze ancien (1800-1500 av. J.C.) au Bronze final ne lègue que peu de traces des habitats, excepté sur une site dominant la plaine de Colmar, l'*oppidum* du Hohlandsberg qui a été fouillé par Charles Bonnet³²⁰. La terre argileuse semble n'avoir été réservée qu'à la mise en œuvre des sols et de foyers alors que les parois des habitats seraient davantage du type *"blockbau"*, en troncs d'arbre empilés maintenus par quelques poteaux fichés à même le sol ou, au mieux, dans des soubassements de pierre. Les sites en *oppidum* resteront longtemps des implantations privilégiées par les populations avant que s'étende le défrichement des régions de coteaux puis de plaine, à l'Âge du Bronze final, à partir du XII^{ème} siècle. Dans les régions sous-vosgiennes du Sundgau, en Allemagne et en Suisse, on peut observer des groupements d'habitats disséminés, entourés de palissades, de forme rectangulaire assez spacieuse (10 m x 5 m), qui comprennent un sol de galets et dont les cloisons auraient été dressées en poteaux de bois et clayonnage tapissé de terre argileuse. Mais la technique du *blockbau* reste très présente. Avec l'Âge du Fer (750-50 av. J.C.), l'habitat en *oppidum* jouera un rôle primordial lié au développement des activités artisanales et commerciales permettant la constitution de véritables chefs-lieux de région.

³¹⁵ Voir : Guilaine, Jean, "Premiers villages d'Europe", chapitre "l'Europe préhistorique : le Néolithique", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 42-43.

³¹⁶ Voir : Louboutin, Catherine, op. cit.

³¹⁷ Voir : Holtzmann, Bernard, "Le monde grec", "Les habitats pré-et protohistoriques", in "Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale" Universalis, op. cit., pp. 132-133.

³¹⁸ Voir : Mohen, Jean-Pierre, "Habitats fortifiés et habitats de plaine", chapitre "L'Europe préhistorique : la protohistoire", in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 60-61.

³¹⁹ Schweitzer, Joël, op. cit., pp. 12-13.

³²⁰ Bonnet, Charles, "Que savons-nous des habitations de nos lointains ancêtres ?", Annuaire de la Société d'histoire et d'Archéologie, Colmar, 1976-77, pp. 5-16, cité par Schweitzer, Joël, op. cit.

La première époque de l'Âge du Fer (750-450 av. J.C.), autrement dénommée "hallstattienne" affirme la fonction urbaine de certains habitats qui s'éloignent de leur vocation agricole originale. Jean-Luc Fiches a bien étudié "la civilisation des *oppida*" et décrit ce phénomène d'urbanisation en sites-refuges fortifiés par d'épais remparts de pierre parfois dotés de tours quadrangulaires³²¹. Il évoque les sites méridionaux comme La Roque de Fabrègues, à la fin du V^{ème} siècle, la Roque-de-Viou, au milieu du IV^{ème} siècle, Nages (Gard) et Ambrussum (Villetelle, Hérault), Entremont, dans la seconde moitié du III^{ème} siècle. En décrivant la "maison indigène" de ces époques de l'Âge du Fer, il dit qu'elle "est faite de pisé appliqué sur des branchages, eux-mêmes appuyés à des poutres souvent supportées par des poteaux." On aura compris qu'il s'agit de "torchis" ou de terre argileuse et non de "pisé". Mais la construction des murs semble avoir fait appel à des techniques variées et l'on peut aussi observer des murs en pierres, bâtis à la terre argileuse ainsi que d'autres élevés en bauge ou en briques de terre crues sur des soubassements de pierre, matériaux dont l'emploi se développe, en Provence, à partir du IV^{ème} siècle (site de La Lagaste). Au II^{ème} siècle, la terre argileuse est aussi plus largement utilisée pour crépir les murs comme on peut l'observer aux Baux de Provence, à Entremont ou aux Pennes-Mirabeau. Au deuxième Âge du Fer (450-50 av. J.C.), ou époques de la Tène, il est possible de distinguer, entre les territoires septentrionaux et méridionaux de la France actuelle, des habitats dérivés d'une culture de fonds germanique et d'autres issus d'une culture de fonds celte, influencée par des apports de l'hellénisation (en Provence). D'une part, nous avons des habitats en forme de huttes quadrangulaires, de plain-pied, dont les parois sont en poteaux de bois et clayonnage d'argile, avec des cloisons internes, comme on peut l'observer à Manching, en Bavière, et d'autre part, des habitats plus souvent élevés en pierres et briques de terre crue, sur assises de pierre, comme à Nages (Gard) et Ensérune (Hérault). Mais au I^{er} siècle av. J.C., les sites méridionaux du Languedoc occidental, comme La Lagaste, Pomas et Rouffiac (Aude), contiennent des habitats de terre et de bois. En Languedoc oriental, l'*oppidum* des Castels, à Nages (Gard), livre aussi des toitures construites en branches et clayonnages d'argile. Dans l'ensemble de la Gaule méridionale, "un site sur deux, en moyenne, fournit des fragments de terre portant les empreintes d'un clayonnage ou de pièces de bois", avec 42 sites repérés qui en fournissent l'évidence³²².

A la fin du I^{er} siècle av. J.C., les conquêtes de Jules César qui aboutiront à la défaite d'Arioviste en Haute-Alsace, inaugurent une nouvelle époque de l'histoire de la Gaule avec l'engagement d'un véritable aménagement du territoire qui rationalise l'organisation du paysage rural. Les premières étapes de la romanisation se traduisent par l'intensification des travaux routiers et par la création de nombreuses voies qui sillonnent les campagnes avec la création d'axes principaux nord-sud et d'axes secondaires, perpendiculaires et transversaux. Sur cette base viaire, la "*pax romana*" s'établit sur la projection d'un système d'aménagement fondé sur des coordonnées orthogonales. C'est la "centuriation" du paysage qui le divise en "centuries" ou vaste unités de superficie de 710 mètres de côté, soit 50 hectares. Ces lots sont ensuite répartis dans la population, le plus souvent au bénéfice des colons romains et donc au détriment des populations indigènes. De cette opération naît la création de nouvelles propriétés rurales organisées autour d'un centre d'exploitation, la "*villa*" qui occupe en général un site choisi garantissant la présence de l'eau, la proximité d'une voie romaine et également d'un gisement de matériaux de construction, notamment d'une carrière de pierres. Au cours du I^{er} siècle ap. J.C., ces "*villae*" seront d'abord de petites demeures à plan simple, carré et à pièce unique, parfois dotées d'un sous-sol, ou à plan rectangulaire à plusieurs pièces alignées, structures dérivées du plan gaulois. Ces *villae* originelles sont à l'origine "en pans de bois sur un soubassement de pierres montées à sec" puis, plus tardivement "en torchis sur fondations ou soubassement de pierres appareillées"³²³. Au cours du II^{ème} siècle, période d'extension des constructions, viendront les plans avec avancées qui abandonnent les références celto-gauloises et confirment un souci de meilleure organisation et d'esthétique, traduisant aussi un enrichissement des familles. Les pièces sont organisées de façon symétrique, autour d'une cour intérieure aux formes régulières. Les agrandissements successifs se développent en fond de cette cour, finissant par la ferme, et les bâtiments annexes, hangar, forge, logement du bétail, sont relégués à l'extérieur. C'est ainsi l'organisation du plan en deux unités distinctes, la "*pars urbana*", ou résidentielle, et la *pars agraria* ou "*rustica*", ou à vocation agricole, que généraliseront les *villae* romaines au cours de la seconde moitié du II^{ème} siècle et au cours du III^{ème} siècle. L'histoire démontre que beaucoup de ces grands domaines seront progressivement abandonnés vers la fin du III^{ème} siècle et au cours du IV^{ème} siècle alors que se développe un climat d'insécurité qui annonce les "temps obscurs" du Haut-Moyen Âge.

Les vestiges des villas romaines fournissent en général des connaissances sur les parties construites en "dur" des édifices, c'est à dire sur la *pars urbana*, alors que "les bâtiments d'exploitation, édifiés plus sommairement, mais plus

³²¹ Fiches, Jean-Luc, "Habitat et Fortifications, la civilisation des *oppida*", in Les dossiers de l'archéologie, n° 35, juin 1979, pp. 67-75.

³²² Voir : De Chazelles, Claire-Anne, Fiches, Jean-Luc et Poupet, Pierre, "La Gaule Méridionale", in DAF n°2, "Architectures de terre et de bois", 1985, op.cit., pp. 61-71.

³²³ Voir : Uffler, Anne-Marie, "L'habitat rural en Gaule centrale", in les dossiers histoire et archéologie, n° 58, novembre 1981, 86 p., pp. 70-75.

représentatifs du *fundus*, ont en général laissé peu de traces, que seule une observation attentive peut révéler³²⁴. Sur l'aspect des modes de construction, les énoncés descriptifs restent très généraux. Pour la région Alsace, Joël Schweitzer³²⁵ note que : "Ces matériaux de construction varient selon le niveau de vie et selon la situation géographique. On emploie en général les matériaux locaux, la pierre reste réservée aux régions de montagnes (grès des Vosges ou calcaire du Jura) ; elle est cependant utilisée en plaine pour la construction des bâtiments officiels ou luxueux, les bâtiments plus modestes se contentant de soubassements en pierres sèches sur lesquels on érige un colombage de bois que l'on comble d'un clayonnage tapissé d'argile. Souvent l'extérieur est recouvert d'une application de lait de chaux. Dans les *villae* moyennes, les cloisons de pisé sont parfois recouvertes d'une couche de mortier de chaux supportant des fresques. (...) Les bâtiments secondaires, quant à eux, sont souvent de simples baraquements de bois à fondation de pierres supportant une toiture de tuiles. Ce type de construction aux matériaux altérables est caractéristique du I^{er} siècle, les bâtiments en dur, se développant surtout après 70." Pour la Gaule centrale, Anne-Marie Uffler note³²⁶ : "Les murs sont édifiés avec tous les matériaux : pierres sous forme de galets, de moellons dressés en pierres à queues selon la taille gallo-romaine caractéristique, ou d'appareil cubique ; brique utilisée uniquement pour les hypocaustes ou trahissant un remaniement ou une restauration tardive ; blocage dissimulé par un parement d'appareil de pierres régulières." Mais, "Nombre de constructions, logis ou bâtiments d'exploitation agricole sont en pisé (murs de terre) ou en colombage (terre et bois), avec, pour la plupart, un soubassement en maçonnerie de pierres." Enfin, pour la région de Picardie, en pays de Somme, Roger Agache et Bruno Bréart observent que³²⁷ : "pour l'époque romaine, dans nos régions de limons argileux, seuls de petits soubassements en pierres étaient sans doute une règle quasi générale. Dans le Bulletin de la Société Nationale des Antiquaires de France (1962, p. 122), A. Dollfus note que dans tous les vestiges qu'il a étudiés dans les forêts de Haute Normandie, les murs n'avaient que 0,60 m à 1 m au maximum. Il précise que, sur toutes les longueurs dégagées, "la hauteur demeure constante et la partie supérieure parfaitement régulière". Il conclut justement que si, dans l'Antiquité, ces murs avaient eu plus de hauteur, on observerait alors plus d'irrégularités. Nous avons également constaté que, dans les fouilles rurales de constructions domestiques, la dernière assise de pierres maçonnées était régulièrement horizontale, ce qui ne serait pas le cas si c'était la partie inférieure de murs plus hauts qui auraient été ultérieurement démolis. Il ne s'agit donc que de la base des murs qui, eux, ont littéralement fondu car ils étaient en argile crue." Et, plus loin dans le texte : "On utilise ce qui se trouve sur place, la pierre là où il y en a, le bois là où il est abondant et surtout et un peu partout la terre crue quand le limon argileux affleure. (...) La quasi-totalité des matériaux utilisés sont prélevés aux abords immédiats des constructions : ici, comme dans toute la Gaule. Or, c'est évidemment la terre dont on dispose le plus facilement sur place, à défaut d'autres matériaux. (...) Il arrive même que certains grands monuments que l'on imagine trop comme nécessairement en pierre étaient, en fait, essentiellement ou même totalement en terre. *A fortiori*, les *villae*, leurs dépendances, ainsi que les sanctuaires ruraux comme les *fana*, avaient la plus grande partie de leurs murs en matériaux légers, terre et bois. De simples survols peuvent en témoigner (...) il arrive que l'on distingue des auréoles sombres autour des fondations elles-mêmes. Elles correspondent à la masse argileuse qui s'est effondrée puis qui s'est peu à peu diluée quand la construction a été abandonnée et qu'elle a perdu sa toiture."

On voit donc que, pour les villas gallo-romaines, l'hypothèse de la construction de murs en terre sur soubassements maçonnés en pierres est celle qui est retenue par les archéologues, avec toutefois, des incertitudes sur les types de matériaux et les modes de mise en œuvre utilisés, c'est à dire, soit le torchis de terre argileuse et de végétaux en garnissage de clayonnage, soit la bauge en levées de terre successives, soit le pisé coffré ou encore la brique de terre crue bâtie au mortier de terre argileuse. Peut-être faut-il alors s'en remettre à la filiation historique de la transmission des cultures constructives, depuis ces premières époques de l'ère chrétienne jusqu'à nos jours, et considérer la typologie constructive régionale actuellement visible sur le territoire comme une réalité possible pour ces époques. Le bois et le torchis, comme la bauge, seraient alors des techniques gallo-romaines septentrionales, la brique crue et le pisé étant de caractère plus méridional. Tout en considérant que cette distinction classique des typologies architecturales et constructives entre le nord et le sud de la Loire, établie par les géographes au début de ce siècle, connaît des exceptions culturelles (le torchis des Landes, par exemple). Mais ce sont là encore des hypothèses que les époques du Moyen Age pourront peut-être éclairer.

³²⁴ Voir : Chevallier, Raymond, "La villa romaine et la romanisation des campagnes", in Les dossiers histoire et archéologie, n° 58, pp. 6-9. L'auteur précise que : "Au demeurant, l'archéologue, au moins jusqu'à une époque récente, s'est intéressé davantage à la partie résidentielle, susceptible de livrer un riche décor ou un abondant mobilier et les rapports anciens manquent de précision sur les structures ...".

³²⁵ Schweitzer, Joël, op. cit.

³²⁶ Uffler, Anne-Marie, op. cit.

³²⁷ Agache, Roger et Bréart, Bruno, "La terre crue dans les constructions traditionnelles", in Les dossiers histoire et archéologie, n° 79, décembre 1983, 90 p., op. cit., pp. 16-23 et plus particulièrement p. 16, 2^{ème} colonne et p. 18. Roger Agache et Bruno Bréart sont connus pour leurs travaux de prospection archéologique par photographie aérienne qu'il ont notamment mené en Picardie.

Pour l'Europe de l'Ouest, le cadre chronologique du Haut-Moyen Âge se situe entre le V^{ème} et le X^{ème} siècles. La période est traditionnellement scindée en deux époques, la mérovingienne, qui s'achève en 751 et la carolingienne qui se termine en 911 pour la "Francie" orientale, et en 987 pour la "Francie" occidentale. Cette période marque un tournant décisif dans l'histoire européenne, en transition entre l'Antiquité et le Moyen Âge. Pour ce qui concerne l'aspect des constructions, Patrick Perin observe que³²⁸ : "Si les progrès de l'archéologie urbaine ont entraîné une meilleure connaissance de la topographie générale des villes au cours de la première partie du Haut-Moyen Âge, l'aspect des quartiers d'habitation reste encore incertain. L'étude des habitats ruraux est également fort récente. (...) En dehors des régions méridionales (...) où l'on a construit en pierre, le bois a été utilisé, ne laissant dans le sol que des tâches de couleur, correspondant aux trous de poteaux et aux fosses des bâtiments agricoles. Les fouilles de Gladbach et de Warendorf, en Allemagne, Celles de West Stow et de Mucking, en Angleterre, ou celles de Brébières (Pas-de-Calais), en France, ont ainsi révélé les plans de plusieurs villages d'époque mérovingienne et permis la reconstitution des différents types de construction." La question de l'emploi du bois et de la terre en garnissage reste posée car, dans l'ensemble, les fouilles qui ont porté sur les habitats ruraux ont plutôt révélé des maisons de bois comme à Maxey, en Grande-Bretagne, à Burgheim, en Allemagne, à Kootwjke, aux Pays-Bas mais aussi des maisons de pierre, comme en France, à Mondeville, Calvados. Il semble en effet que le Haut-Moyen Âge ait privilégié la construction en bois, à poteaux jointoyés à la terre, formant palissade, au moins dans les régions de plaine. Le site de Warendorf, fouillé entre 1951 et 1956, établi en Westphalie et daté du VII^{ème} au VIII^{ème} siècles, est un exemple modèle de la typologie de l'époque. Établi sur 2,6 hectares, ce site a révélé 186 bâtiments aux dimensions et fonctions variées. Jean Chapelot et Robert Fossier³²⁹ notent : "On peut distinguer d'abord des bâtiments construits à partir du niveau du sol, utilisés comme habitations ou comme annexes : 25 grandes maisons mesurant entre 14 m et 29 m de long sur 4,5 m et 7 m de large ; 40 maisons de plus petites dimensions, mesurant entre 4 m et 11 m de long et 3 m à 3,5 m de large ; enfin 20 petits bâtiments annexes. Avec ces bâtiments, des installations partiellement excavées dans le sol, c'est-à-dire, des fonds de cabane, au nombre de 70 au total. (...) S'ajoutent enfin à ces diverses constructions des installations sur pieux, formant 25 structures hexagonales, 3 structures octogonales et 3 partiellement circulaires ou semi-circulaires qui sont les traces de la base des greniers à céréales surélevés ou de poteaux destinés à porter une couverture protégeant des meules de céréales ou du foin. La combinaison d'une quinzaine de ces diverses constructions autour d'une seule grande maison constituait une unité d'exploitation agricole occupant une surface d'environ 70 m sur 50 m, selon un plan peu organisé et structuré." Les descriptions qui suivent distinguent deux types de plans pour les grandes constructions, le plan rectangulaire pour celles datées de la première époque d'occupation du site, et avec des grands côtés arrondis pour la deuxième époque. Les structures en bois sont très élaborées avec des charpentes à arbalétriers en appui sur des sablières posées sur poteaux verticaux, eux-mêmes repris par des contreforts en forme de jambes de force obliques. Les parois extérieures de ces structures en bois furent-elles dressées en palissade de bois, en bauge entre poteaux ou en torchis sur clayonnage ? Aucune hypothèse précise n'est avancée par le texte de Chapelot et de Fossier.

Sur le site de Gladbach, situé en Rhénanie moyenne, daté des VII^{ème}-VIII^{ème} siècles, comme Warendorf, les fouilles ont révélé des groupements de maisons rectangulaires et de fonds de cabanes partiellement clos de palissades. Les habitations, " 2 de 12,5 m de long sur 9 m de large environ, 3 de 4 m sur 7 m, et 3 plus petites, sont nettement moins nombreuses que les fonds de cabane : 57 au total, appartenant pour 13 au type où la couverture est supportée par deux poteaux disposés dans l'axe, au milieu des petits côtés ; pour 44 à l'autre type classique, à six trous de poteaux, un dans chaque angle et un au milieu des petits côtés." (...) La maison 14 du site, mieux décrite et dont une hypothèse de reconstitution a été faite par W. Sage permet de préciser que : "comme le montraient les traces au sol, les parois sont faites d'une cloison de clayonnage mise en place grâce à des supports verticaux de faible diamètre disposés à intervalle régulier, tous les mètres environ" ³³⁰ . Les maisons-fosses ou "*Grubenhäuser*" qui ont été trouvées sur les sites alsaciens, à Leibersheim (Riedisheim, Haut-Rhin), répondent à ces principes de structure. Ce sont des cabanes rapprochées les unes des autres, de forme quadrangulaire ou oblongue, pour un premier type à deux trous de poteaux médians (cabanes 1,9 et 10), à quatre poteaux angulaires pour un second type (cabanes 3, 4b, 5, 7, 12, 13, 20) et à six poteaux, soit deux médians et quatre angulaires, pour un troisième type (cabanes 2, 4a, 6, 8, 11, 16, 17, 18). Selon Joël Schweitzer³³¹, "les cabanes à quatre et six poteaux permettaient une architecture plus évoluée avec parois latérales appuyées aux poteaux angulaires. La confection de cloisons en clayonnage avec application d'argile semble une hypothèse à rejeter (les fragments de pisé restant rarissimes et sans trace du clayonnage." L'hypothèse constructive pencherait donc davantage en faveur d'un système de palissade en bois, principes que l'on a identifiés sur d'autres sites anglo-saxons de Grande-Bretagne, comme à West Stow (Suffolk) et à Church Down (Hampshire), datés des VI^{ème} et

³²⁸ Perin, Patrick, in "Le Grand Atlas de l'Archéologie" Universalis, Ibid., pp. 98-99.

³²⁹ Chapelot, Jean, Fossier, Robert, "Le village et la Maison au Moyen Âge", op. cit., p. 80.

³³⁰ Chapelot, Jean, Fossier, Robert, op. cit., p. 97 et p. 298.

³³¹ Schweitzer, Joël, op. cit.

VII^{ème} siècles. Évoquant l'utilisation de la terre et du bois dans la construction médiévale, Jean-Marie Pesez³³² note que : "Les constructions du Haut-Moyen Âge, réalisées majoritairement (pas exclusivement, il faut le rappeler) en matériaux périssables, n'ont laissé généralement que des témoins en négatif parmi lesquels les fonds excavés des cabanes, par leurs dimensions, s'imposent à l'attention du chercheur. Quoi qu'il en soit, la cabane excavée, faite du sol même où elle est creusée, et des pieux qui supportent sa charpente rudimentaire, des perches sur lesquelles reposent sa couverture, des planches de bois, des claies qui tapissent ou constituent ses parois, est, par excellence, une réalisation en terre et en bois." Mais, dans l'ensemble, les matériaux de construction, à l'exception des pieux ou poteaux de bois suggérés par les trous périphériques, angulaires ou axiaux, sont rarement révélés par les fouilles. Les traces des clayonnages sont en effet peu détectables si ce n'est par l'empreinte de piquets comme cela a pu être observé à Les Rues-des-Vignes ou à Dieue-sur-Meuse³³³.

Les premières époques du Moyen Âge (IX^{ème} - XI^{ème} siècle), confirment l'installation du système féodal associé à la création du village, selon une typologie de modèles architecturaux qui vont perdurer jusqu'à nos jours et une organisation autour de l'église et du château qui en sont les édifices constitutifs. Un important effort de construction est par ailleurs motivé par une forte croissance démographique. Comme le relève Jean Chapelot³³⁴, "c'est en effet à ce moment que l'on passe de la maison habituelle du Haut-Moyen Âge, construite par ses futurs utilisateurs avec des matériaux sommaires, souvent périssables (branchages, perches, bottes de feuillage), à la maison faite pour durer. (...) Ces maisons qui seront transmises de génération en génération, sont les éléments essentiels du village de cette époque ; par leurs formes ou leurs techniques de construction, elles déterminent les types d'architectures régionales qui perdureront jusqu'à nous." La typologie de la maison médiévale qui se développe notamment aux XII^{ème} et XIII^{ème} siècles compte plusieurs modèles. Tout d'abord, la maison dite "élémentaire", de plan en longueur et généralement de deux pièces, qui prolonge en fait le modèle existant au Haut-Moyen Âge et qu'on a localisée à Gladbach (Rhénanie moyenne, Allemagne) ou à West Stow (Sufflok, Grande-Bretagne) ; pour ce modèle, le bétail est en général logé dans un bâtiment annexe. Ensuite, la "maison mixte", ou "maison-étale", elle aussi de plan rectangulaire mais qui loge sous le même toit les humains et le bétail en chacune de ses extrémités. Enfin, la "ferme de plan quadrangulaire" dont le groupement des bâtiments s'organise en cour ouverte ou fermée, avec des bâtiments annexes généralement plus grands que l'habitation.

Les matériaux et les techniques de construction au Moyen Âge, sont décrits par Jean Chapelot et Robert Fossier³³⁵. Si nous ne considérons ici que les techniques de construction à base de bois et de terre, qui sont l'objet de ce chapitre de notre recherche, en rappelant qu'elles n'ont pas été exclusivement employées par le bâtisseur médiéval (la pierre le fut aussi ainsi que d'autres techniques de construction en terre précédemment décrites comme la bauge et les mottes de gazon), on décrira les structures en pan de bois "primitif" (premières époques) et en "colombages à bois longs" (époques finales du Moyen Âge).

Les principales évolutions des structures en pans de bois sont liées à deux aspects. D'une part le principe de fondation des éléments porteurs et de soutien des parois de remplissage et, d'autre part, les techniques d'assemblage des bois ainsi que les dimensions des pièces. Les fondations des poteaux évoluent du principe du simple enfoncement dans le sol superficiel, avec un calage de pierres, au principe de pose sur une pierre plate en fond de trou de fondation, puis à celui de la sole de bois ou sablière posée à même le sol et enfin à celui de la sablière posée sur un petit soubassement maçonné, en pierres. Cette évolution est lente puisqu'elle s'opère entre la fin du X^{ème} siècle et jusqu'au XV^{ème} siècle qui inaugure les époques de la Renaissance. Dans ce parcours, l'invention du principe de la sole ou sablière basse, que l'on situe aux X^{ème} et XII^{ème} siècles³³⁶, est une étape décisive d'amélioration de la qualité des ouvrages, permettant une meilleure assise des parois de remplissage, en bois ou en clayonnage enduit de terre argileuse. L'invention du muret de soubassement, située aux XI^{ème} et XII^{ème} siècles est une autre étape d'amélioration avec notamment la mise hors d'eau des édifices. Sur l'assemblage des pièces de bois, on observe, une plus grande utilisation du système tenon-mortaise à partir des X^{ème} et XI^{ème} siècles mais les pièces de bois sont encore très grossièrement équarries (pour les poteaux principaux et la sablière basse, et encore pas toujours) et non droites. Ces principes de pans de bois primitif

³³² Pesez, Jean-Marie, "La terre et le bois dans la construction médiévale", in DAF n°2, "Architectures de terre et de bois", op. cit., pp. 159-167 et plus particulièrement, p. 160.

³³³ Voir : Florin, B., "L'Habitat rural du Haut-Moyen Âge en milieu rural dans le Nord/Pas-de-Calais", Cambrai, 1983, cité par Jean-Marie Pesez, p. 166.

³³⁴ Chapelot, Jean, "Le village et la maison", chapitre "Le Moyen Age", in "Le Grand Atlas d'Archéologie" Universalis, op. cit., pp. 120-121.

³³⁵ Chapelot, Jean, Fossier, Robert, op. cit., chapitre VI, "Les matériaux et les techniques de construction au Moyen Âge", pp. 255-333.

³³⁶ Chapelot, Jean, Fossier, Robert, op. cit., chapitre VI, "Les matériaux et les techniques de construction au Moyen Age", p. 257.

évolueront avec une généralisation de l'équarrissage des pièces et l'apparition de la sablière haute, aux XII^{ème} et XIII^{ème} siècles, qui marquera une évolution progressive vers les colombages à "bois longs", à partir de la fin du XIV^{ème} et au cours du XV^{ème} siècle.

Le principal mode de remplissage de ces structures en bois fait appel à la technique du clayonnage à base de perches, baguettes de bois et végétaux tressés ou entrelacés, recouvert d'un mélange de terre et de végétaux (paille ou herbes), soit, le "torchis". Cette technique est très ancienne puisque l'on relevait son existence depuis les temps néolithiques. Mais le Moyen Âge amènera une amélioration de la qualité de la construction de ces clayonnages-soutiens. Suivant les essences de bois locaux et les types d'usage des bâtiments, les clayonnages sont de conception très diverse. Chaque région constitue sa propre culture du clayonnage sur une base de principes communs. Il faudra alors distinguer les solutions du tressage ou de l'entrelacs des baguettes entre une trame de poteaux assez large, sans doute les plus anciennes (régions de la Bresse, du Jura et de l'Alsace en France), de celles du calage de petites pièces de bois, horizontales ou obliques, entre des poteaux montés en trame plus serrée (régions de la Champagne, de la Picardie, de la Haute et Basse Normandie, des Landes, en France). Mais ce sont là des traits caractéristiques des architectures de bois et de terre régionales qui s'affirmeront au delà du XV^{ème} siècle. Simultanément, les régions de fonds culturel germanique (Alsace, Vosges, Jura, en France et les territoires anglo-saxons de Grande-Bretagne) ainsi que d'autres régions plus enclavées (Bresse septentrionale, en France), maintiennent les constructions à colombage à bois longs. D'autres régions qui connaissent un développement économique plus rapide et une extension de l'activité des corps de métiers artisanaux du bâtiment (charpentiers notamment), mais toujours dans les territoires septentrionaux (au nord de la Loire, en France par exemple), passent progressivement au colombage à "bois court". Cette distinction est toujours nettement affirmée dans la typologie des architectures de bois et de terre actuellement visible, en milieu rural comme en milieu urbain ancien.

Pour clore ce chapitre sur l'utilisation de la terre en garnissage ou sur ce que nous avons dénommé "architecture de bois, clayonnage et torchis", nous rappellerons qu'elle n'est bien sûr pas l'exclusivité de la culture constructive européenne et que la plupart des régions du monde l'ont développée, voire privilégiée, depuis les temps les plus reculés du Néolithique puis au cours des époques protohistoriques et même durant l'histoire. Mais il est difficile, sur la base des trouvailles archéologiques, qui concernent plus le domaine de l'architecture monumentale ou urbaine que celui de l'architecture rurale, de bien situer les limites supérieures des cadres chronologiques de l'emploi de cette culture constructive du bois et de la terre, dans chaque régions du monde. Car, l'architecture rurale l'a sans aucun doute utilisée jusqu'à des époques très récentes comme le montrent encore les patrimoines architecturaux vernaculaires visibles. Ainsi, sur la base de la connaissance des principaux sites archéologiques inventoriés dans le monde, on pourra dire avec précaution, que la Chine fournit des témoignages d'architecture de bois et de terre depuis les époques de culture Yangshao, avec le site de Banpo, au II^{ème} millénaire. Cette culture reste dominante jusqu'aux époques de la dynastie Zhou (1122-221 av. J.C.), avant d'évoluer vers la brique de terre crue, puis vers le pisé et enfin vers la brique cuite. L'Égypte semble n'avoir privilégié cette culture constructive que jusqu'aux époques des premières dynasties Thinites (3000/2900 av. J.C.), sur les territoires du "pays des deux terres", dans la basse vallée et sur le Delta du Nil. Elle évoluait ainsi très rapidement vers la brique crue, vraisemblablement sous influence mésopotamienne. Les régions occidentales d'Amérique latine paraissent n'avoir utilisé la construction en bois, végétaux et garnissage de terre que jusqu'au début du II^{ème} millénaire, avant de passer elles aussi à la brique de terre crue. En Mésoamérique cette culture constructive n'a été privilégiée que jusqu'à la fin des époques de la Civilisation Olmèque, soit jusqu'au VIII^{ème} siècle av. J.C. Mais, là encore, en Amérique latine comme en Mésoamérique, des témoignages d'architecture rurale en bois et terre ou végétaux (bambou, *caña brava*) et terre ont été révélés par les fouilles réalisées en périphérie des grands sites de caractère urbain, sur des implantations d'habitat rural, comme autour de Chan Chan, au Pérou, aux époques du Grand Chimú (XI^{ème}-XV^{ème} siècle ap. J.C.) ou en périphérie de Teotihuacan, au Mexique, jusqu'au milieu du VII^{ème} siècle ap. J.C. Enfin, on a pu constater que d'autres civilisations qui engageaient précocement leur processus d'urbanisation, ont rapidement délaissé cette culture constructive du bois et de la terre ou ne l'ont peut-être pour ainsi dire pas développée au-delà des époques mésolithiques précédant la révolution agricole du Néolithique. Tel est le cas de la Civilisation de l'Indus qui semble avoir construit en briques de terre crue dès les époques pré-harappéennes du VI^{ème} millénaire av. J.C. Tel est aussi le cas du Proche et du Moyen-Orient, en Palestine, en Anatolie et en Mésopotamie, à des époques situées entre le VIII^{ème} et le VI^{ème} millénaire av. J.C., selon les régions.

Conclusion

On aura vu qu'il demeurerait nécessaire d'apporter des précisions sémantiques sur la terminologie des modes de mise en œuvre du matériau terre, des matériaux et des techniques, notamment pour bien lever l'ambiguïté qui a longtemps demeuré sur la réalité de ce que l'on a nommé "pisé", sans distinction précise de genre entre un torchis (terre en garnissage pour des parois minces), une bauge (terre empilée en murs épais) et un pisé (terre coffrée et compactée en murs épais). D'autre part, ces premiers repères de mise en situation historique des grandes familles de mise en œuvre du matériau terre, des matériaux et des techniques de construction et des types d'architectures de terre, montrent que beaucoup d'entre elles connaissent un développement récent dans l'histoire comme la terre compactée, la terre extrudée, la terre en remplissage, la terre coulée ou la terre-paille. Par ailleurs, les autres cultures constructives évoquées ont joué un rôle essentiel dans l'histoire des civilisations et des régions du monde. Tel est le cas de la terre creusée, du torchis, de la bauge et de la brique crue, et plus récemment, du pisé. Les patrimoines de l'architecture vernaculaire ou traditionnelle de toutes les régions du monde, sont marqués de façon indélébile, par cette héritage des cultures constructives transmises de génération en génération de bâtisseurs. Les cultures constructives de la brique crue (Chine, Moyen-Orient, Amériques, Afrique soudano-sahélienne et sub-saharienne) et du pisé (pays du Maghreb, péninsule ibérique, France, Amérique latine, Chine), nous lèguent un patrimoine architectural d'excellence, avec des ensembles monumentaux et urbains, des édifices publics et privés (églises, maisons bourgeoises et châteaux) de grande qualité mais aussi un patrimoine d'architecture vernaculaire, rurale, plus modeste bien qu'aussi solide et durable. Les cultures du torchis - à l'exception d'un patrimoine architectural européen en colombage, en situation rurale comme urbaine - et de la bauge, également très présentes dans le patrimoine architectural vernaculaire mondial (Inde, Afrique orientale et australe, Amérique latine), nous lèguent le plus souvent une architecture précaire qui est celle de l'habitat des pauvres. Elles représentent pourtant, pour ces populations démunies du monde, une alternative toujours viable pour demain et font l'objet de nouvelles applications avec des mises en œuvre et des systèmes constructifs améliorés.

Cette première approche historique des cultures constructives en terre dans le monde mérite d'être approfondie, particulièrement pour des modes d'utilisation autres que ceux qui sont les plus connus tels que le torchis, l'adobe que l'on aura ici plus particulièrement développé, ou le pisé. On pense notamment au gazon et à la bauge qui ont fait l'objet de peu d'investigation dans les cadres chronologiques de leur utilisation par les hommes bâtisseurs, comme dans les cadres géographiques de leurs situations régionales. Ces premiers repères, modestement posés, fournissent déjà un état plus clair et synthétique des connaissances exploitables, répondant ainsi à un premier niveau d'objectif de travail posé par cette recherche qui doit être poursuivie.

Bibliographie

- Agache et Bréart 1983** : AGACHE, Roger, BREART, Bruno - *La terre crue dans les constructions traditionnelles*, in Les dossiers histoire et archéologie, n° 79, décembre 1983, 90 p., pp. 16-23.
- Aurenche 1977** : AURENCHE, Olivier (sous la direction de), et Callot, Olivier (dessins) - *Dictionnaire Illustré Multilingue de l'Architecture du Proche-Orient Ancien*, Institut français d'Archéologie de Beyrouth (Liban), publication hors série, Collection de la Maison de l'Orient Méditerranéen Ancien n° 3, Série Archéologique 2, éditions de la Maison de l'Orient, Lyon, 1977, 391 p.
- Aurenche 1985** : AURENCHE, Olivier - *Du village à la ville, Le Proche-Orient préhistorique*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie Universalis*, Paris, 1985, pp. 168-168
- Bazzana 1993** : BAZZANA, André - *La construction en terre dans Al-Andalus : le Tabiya*, communications de la conférence Terra'93, Silves, Portugal, Ed DGEMN du Portugal, pp. 76-82.
- Besenal 1984** : BESEVAL, Roland - *Technologie de la voûte dans l'Orient ancien*, vol. 1, 196 p. et vol. 2, 224 planches, Synthèse n° 15, éditions Recherche sur les Civilisations, Paris, 1984.
- Bonnet 1976-77** : BONNET, Charles - *Que savons-nous des habitations de nos lointains ancêtres ?*, in *Annuaire de la Société d'histoire et d'Archéologie*, Colmar, 1976-77, pp. 5-16
- Bourdier et Minh-Ha 1985** : BOURDIER, J.P., MINH-HA, T.T. - *African spaces, Designs for living in Upper Volta*, 1985
- Bourgeois et Pelos 1983-1989** : BOURGEOIS, J.L. et PELOS, C. - *Spectacular Vernacular, a New Appreciation of Traditional Desert* 1983, réédité et augmenté en 1989 sous l'intitulé "*Spectacular Vernacular, The Adobe Tradition*", aux éditions Aperture Foundation Inc., New York, 191 p.
- Carazas-Aedo 1997** : CARAZAS-AEDO, Wilfredo - *Raqchi y el Templo de Wiracocha*, monographie, CEEA-Terre, École d'Architecture de Grenoble, Grenoble, avril 1997, 6 p. et 5 planches photographiques.,

- Castellanos Avila 1995:** CASTELLANOS AVILA, Carolina - *Hacia una propuesta Integral de Conservacion Para Sitios Con Arquitectura De Tierra, Paquimé : Un Estudio De Caso*, Thèse, École Nationale de Conservation, Restauration et Muséographie, INAH, Mexico, 1995, 165 p.
- Chapelot et Fossier 1980 :** CHAPELOT, Jean, FOSSIER, Robert - *Le village et la maison au Moyen Age*, 1980.
- Chevallier 1981 :** CHEVALLIER, Raymond - *La villa romaine et la romanisation des campagnes*, in *les dossiers histoire et archéologie*, n° 58, novembre 1981, 86 p., pp. 6-9.
- Cointeraux 1790:** COINTERAUX, François - *École d'architecture rurale et économique*, Paris, Imprimerie N.H. Nyon, 1790, 2 p.
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; premier cahier ou les leçons par lesquelles on apprendra soi-même à bâtir solidement les maisons de plusieurs étages avec la terre seule*, Paris, 1791.
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; deuxième cahier dans lequel on traite de l'art du pisé ..., des qualités des terres propres au pisé ..., des détails de la mise en oeuvre, du prix de la terre*, 76 p. illus., Paris, 1791
- Cointeraux 1791:** COINTERAUX, François - *École d'Architecture Rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils ..., 68 p.*, Paris, 1791.
- Cointeraux 1806 :** COINTERAUX, François - *Du nouveau pisé, ou de l'art de faire le pisé par appareil*, Paris, 1806, 19 p.
- Cointeraux 1806 :** COINTERAUX, François - *Description curieuse et instructive des modèles en pisé et autres, que l'on voit dans l'atelier du Sieur Cointeraux*, 1806, 20 p.
- De Chazelles et al. 1985 :** DE CHAZELLES, Claire-Anne, FICHES, Jean-Luc, POUPET, Pierre, *La Gaule Méridionale*, in DAF n°2, *Architectures de terre et de bois*, 1985, Paris, 191 p., pp. 61-71.
- De Contenson 1984 :** DE CONTENSON, Henri - *Tell Ramad, village syrien des VII^e et VI^e Millénaires*, in *Revue Archeologia* n° 33 de mars-avril 1979, p. 69-73.
- Di Paso 1974:** DI PASO, Charles - *Casas Grandes : a fallen trading center of the Grand Chichimeca*, Amerind Foundation Inc., Dragoon, Flagstaff, 1974.
- Dmochowsky 1990 :** DMOCHOWSKY, Zbigniew - *An Introduction to Nigerian Traditional Architecture*, 3 volumes, éditions Etnographica, Londres, 1990.
- Doat et al 1991 :** DOAT, Patrice (sous la direction de), BARDAGOT, Anne-Monique, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, JOFFROY, Thierry, RIGASSI, Vincent, ROLLET, Pascal, VITOUX, François - *Étude sur les avoires constructifs au Burkina Faso*, éditions CRA Terre-EAG, 1991, 192 p.
- Dunzhen 1957-1980 :** DUNZHEN, Liu - *La Maison Chinoise*, Collection Architectures, éditions Berger Levrault, Paris, 1980, 234 p. (édition originale, Pékin, 1957)
- Easton 1982:** EASTON, David - *The rammed earth experience*, Wilseyville, Blue Mountain Press, 1982.
- Fassassi 1979:** FASSASSI, M.A. - *L'Architecture en Afrique Noire*, Cosmoarchitecture, éditions Maspero, Paris, 1978
- Faton 1982 :** FATON, Jeanne - *Akhenaton, Pharaon novateur*, in revue "Archeologia", n° 171, octobre 1982, pp. 64-75.
- Fathy 1970 :** FATHY, Hassan - *Construire avec le peuple*, Bibliothèque Arabe, éditions Sinbad, Paris, 1970, 310 p. et 132 planches.
- Fauth 1946:** FAUTH, Wilhelm - *Der praktische Lehmabau*, éditions Limes Verlag, Wiesbaden, 1946, 130 p.
- Fiches 1979 :** FICHES, Jean-Luc - *Habitat et Fortifications, la civilisation des oppida*, in *Les dossiers de l'archéologie*, n° 35, juin 1979, pp. 67-75.
- Florin 1983 :** FLORIN, B. - *L'Habitat rural du Haut-Moyen Âge en milieu rural dans le Nord/Pas-de-Calais*, Cambrai, 1983.
- Gardi 1974:** GARDI, René - *Maisons africaines*, éditions Elsevier, Paris-Bruxelles, 1974
- Gardi et al. 1994 :** GARDI, B., MAAS, P., MOMMERSTEEG, G. - *Djenné, il y a cent ans*, éditions Institut Royal des Tropiques, Museum für Völkerkunde, Musée National du Mali, 1994, 168 p..
- Goiffon 1772 :** GOIFFON, Georges-Claude - *L'art du maçon piseur*, Librairie Le Jai, Paris, 1772, op. cit.
- Guilaine 1985 :** GUILAINE, Jean - *Premiers villages d'Europe*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 42-43.
- Guillaud 1986 :** GUILLAUD, Hubert - *Techniques anciennes et modernes*, in DETHIER, Jean, *Architecture de Terre ou l'avenir d'une tradition millénaire*, réédition du catalogue de l'exposition du Centre Georges Pompidou, Paris, 1986, pp. 33-48.
- Guillaud 1990 :** GUILLAUD, Hubert - *La terre crue : des matériaux, des techniques et des savoir-faire au service de nouvelles applications architecturales*, cahiers techniques 2135, 16 p., 2135-1, 16 p., 2135-2, 16 p. et 2135-3, remise à jour n° 46 de l'Encyclopédie du Bâtiment, éditions Techniques-éditions Eyrolles, Paris, 1990, 18 p.
- Guillaud 1994 :** GUILLAUD, Hubert - *Les grandes figures du patrimoine régional Rhône-Alpes, François Cointeraux (1740-1830), pionnier de la construction moderne en pisé*, Grenoble, mars 1994, 48 p.
-

- Holtzmann 1981** : HOLTZMANN, Bernard - *Le monde grec ; Les habitats pré-et protohistoriques*, in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1981, 405 p., pp. 132-133.
- Houben et Guillaud 1989** : HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert - *Traité de Construction en Terre*, éditions Parenthèses, Marseille, mai 1989, 355 p.
- Hoyle et al. 1993** : HOYLE, Ana Maria, CARCELEN, José et SAAVEDRA, Federico - *Conservation of the Tomaval Castle*, in "Communications de la 7ème Conférence Internationale sur l'Étude et la Conservation de l'Architecture de Terre, Terra 93 », Silves, Portugal, éditions de la DGEMN du Portugal, 1993, 659 p., pp. 222-227.
- Hoyle 1996** : HOYLE, Ana Maria - *Chan Chan, Sintesis Urbana Andina*, éditions Instituto Nacional de Cultura La Libertad, Trujillo, Pérou, septembre 1996, 31 p. et 26 planches de plan et photographies du site de Chan Chan.
- Huot 1985** : HUOT, Jean-Louis - *Le peuplement de la Basse-Mésopotamie*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 176-177
- Jarrige 1985** : JARRIGE, Jean-François - *Les débuts de l'économie agricole*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 240-241.
- Jarrige 1985** : JARRIGE, Jean-François - *Des villages du Baluchistan aux villes de l'Indus et Le IIème millénaire ou la seconde révolution agricole*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 242-243.
- Jarrige 1985** : JARRIGE, Jean-François - *Le IIème millénaire ou la seconde révolution agricole*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 244-245.
- Labouret 1931** : LABOURET, H. - *L'Habitation de l'Afrique noire*, 1931
- Lancel 1979** : LANCEL, Serge (sous la direction de) - *Byrsa I*, 337 p. et *Byrsa II*, 417 p., Mission Archéologique Française à Carthage, Rapports préliminaires des fouilles (1974-1976), Collection de l'École Française de Rome, 41, éditions de l'École Française de Rome, Palais Farnèse, 1979.
- Leclant 1985** : LECLANT, Jean - *Abou Simbel et la Nubie*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 206-207.
- Lewis 1977** : LEWIS, Miles - *Victorian Primitive*, Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, 1977, 87 p., pp. 9-12.
- Loubes 1988** : LOUBES, Jean-Paul - *Maisons Creusées du Fleuve Jaune, l'architecture troglodytique en Chine*, éditions Créaphis, Paris, 1988, 141 p.
- Louboutin 1990** : LOUBOUTIN, Catherine - *Au Néolithique, les premiers paysans du monde*, Collection Découvertes, éditions Gallimard, Paris, 1990, 176 p.
- Ludwig Seebass 1803-1989** : LUDWIG SEEBASS, Christian - *Cointeraux, François, Die Pisé-Baukunst in ihrem ganzen Umfang*, Leipzig, 1803, 195 p. Une réédition récente a été produite par ZA Reprint, toujours à Leipzig, 1989, 206 p.
- McCann 1983** : McCANN, John - *Clay and Cob Buildings*, éditions Shire Publications Ltd, Princes Risborough, 1983, réédité en 1995, 32 p.
- Margueron 1985** : MARGUERON, Jean-Claude - *L'émergence de la Syrie à l'aube des temps historiques*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 182-183.
- Margueron 1991** : MARGUERON, Jean-Claude - *Mari ou la "naissance" d'une ville neuve*, in *Revue Autrement*, n° 55 de la série "Monde", dossier *Cités Disparues, découvreurs et archéologues au Proche-Orient*, 1991, 237 p., pp. 133-142.
- Mellaart 1965**: MELLAART, James, "Earliest civilizations of the Near East", éditions Thames and Hudson, Londres, 1965.
- Mellaart 1967**: MELLAART, James - *Çatal Hüyük, a neolithic town in Anatolia*, 1967
- Mellart 1981** : MELLAART, James - *Avant les premières villes : le Proche-Orient de 8000 à 300 av. J.C.*, in *Le Grand Atlas de l'Histoire Mondiale*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1981, pp. 40-41.
- Miller 1980**: MILLER, David et Lydia, "Manual for building a rammed earth wall", 1980
- Miller 1982** : MILLER, David et Lydia - *Rammed Earth. A selected bibliography*, 1982
- Minke 1980**: MINKE, Gernot - *Alternatives Bauen*, Gesamthochschul-Bibliothek, Kassel, RFA, 1980.
- Mohen 1985** : MOHEN, Jean-Pierre - *Habitats fortifiés et habitats de plaine*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 60-61.
- Nabokov et Easton 1989**: NABOKOV, Peter, EASTON, Robert - *Native American Architecture*, éditions Oxford University Press, New York, 1989, 431 p.
- Palladius 4^{ème} s. ap. n.è.** : PALLADIUS - *Opus agriculturae*, I, 34, Traduction Les Belles Lettres, Paris, réédition en 1976.
- Paret 1990** : PARET, Olivier - *Le Mythe des cités lacustres*, Paris, Dunod, 1958.
- Perin 1985** : PERIN, Patrick - in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p., pp. 98-99.
- Pesez 1985** : PESEZ, Jean-Marie - *La terre et le bois dans la construction médiévale*, in DAF n°2, *Architectures de terre et de bois*, 1985, Paris, 191 p., pp. 159-167.

- Pfirsch 1981** : PFIRSCH, Luc - *Urbanisme et architecture civile*, in *Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale* éditions Encyclopaedia Universalis, 1981, 405 p., pp. 122-123.
- Pline 1^{er} s. ap. n.è.**: PLINE L'ANCIEN - *Naturae Historiarum*, XXXV, 48.
- Prussin 1969**: PRUSSIN, Labelle - *Architecture in Northern Ghana. A study of forms and functions*, Berkeley, 1969.
- Prussin 1970**: PRUSSIN, Labelle - *Sudanese architecture and the Manding*, in *African Arts*, vol. III, n°4, 1970.
- Prussin 1972**: PRUSSIN, Labelle - *West African Mud Granaries*, in *Paideuma*, 1972.
- Schaedel 1985** : SCHAEDEL, Richard, P. - *Naissance des grandes cités andines*, in *Le Grand Atlas de l'Archéologie*, éditions Encyclopaedia Universalis, Paris, 1985, 424 p. pp. 368-369.
- Schöttler 1948**: SCHÖTTLER, W. - *Das Dünnere Lehmbauverfahren*, in *Natur Bauweisen*, Berlin, 1948.
- Schultz 1982**: SCHÜLTZ, K. - *Adobe craft illustrated manual*. Castro Valley, Adobe Craft, 1982.
- Schweitzer (non daté)** : SCHWEITZER, Joël - *L'habitat rural en Alsace, des origines à l'an 800*, in revue *Saisons d'Alsace* n° 64, 23^{ème} année, 124 p., pp. 8-30.
- Seignobos 1982** : SEIGNOBOS, Christian - *Nord Cameroun, Montagnes et Hautes Plaines*, éditions Parenthèses, 1982, pp. 112-114.
- Spencer (non daté)** : SPENCER, A.J. - *Brick Architecture in Ancient Egypt*, éditions Aris & Phillips Ltd, Warminster, Wilts, Angleterre, photocopie de document non datée.
- Uffler 1981** : UFFLER, Anne-Marie - *L'habitat rural en Gaule centrale*, in les dossiers histoire et archéologie, n° 58,
- Varron 1^{er} s. av. n.è.** : VARRON - *Res Rusticae*, I, 14, 40.
- Vidal 1981** : VIDAL, Henri - *Architecture habitat-paysage*, in *Annales ITBTP*, Paris 1981.
- Vitruve 1^{er} s. ap. n.è.**: VITRUVÉ - *De Architectura*, II 1, II 3, II 8
- Volhard 1983**: VOLHARD, Franz - *Leichtlehm, alter Baustoffneue Technik*, éditions Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1983.
- Whitehouse 1978** : WHITEHOUSE, David et Ruth - *Atlas Archéologique universel*, éditions Tallandier, Paris, 1978, 290 p., *Les sites du Proche-Orient de la fin de la préhistoire et de la protohistoire*, p. 94, *Les sites néolithiques de Chine*, p. 210.
novembre 1981, 86 p., pp. 70-75.

Ouvrages collectifs

- Dictionnaire archéologique des techniques** : éditions de l'Accueil, Paris, 1963 et 1964, deux volumes.
- Collection du Grand Larousse "Découvertes Junior"**, éditions Larousse et Gallimard, Paris, 1991, Tome 3, "Le monde avant l'an mille", pp. 542-543, "Le village" (entre le 6^{ème} et le 10^{ème} siècle), pp. 548-549, "La famille viking", pp. 558-559, "Une ville-comptoir" (Hedeby en Suède), pp. 562-563, "Le pays russe".
- Les fouilles belges du Tell Kannâs sur l'Euphrate en Syrie : Lorsque la Royauté descendit du ciel** : catalogue d'une exposition présentée au Musée royal de Mariemont de septembre 1982 à janvier 1983, puis au Musée de Louvain-La-Neuve, de février à mars 1983, éditions du Musée Royal de Mariemont, 1982, 150 p.

Echanges transdisciplinaires sur les architectures et les constructions en terre crue *Rencontre de Montpellier des 17-18 novembre 2001*

(article édité dans les actes des échanges transdisciplinaires, en 2003, éditions de l'Espérou, Montpellier)

Construire en blocs découpés et mottes de gazon

Résumé

Des mottes gazonnées sont directement découpées en surface de sols herbeux ou tourbeux puis utilisées pour édifier des murs bâtis par simple empilement en assises successives. Elles peuvent aussi hourder une structure en bois. Il s'agit d'une technique historiquement très présente dans les îles Britanniques (Highlands d'Écosse, îles Shetland et Irlande), connue sous plusieurs appellations : le "*sod*", le "*sward*", le "*flag*", le "*flaw*" ou le "*feal*", le "*divot*" ou le "*turf*" et bien d'autres termes encore. Ce procédé fut aussi très utilisé pour la construction d'ouvrages de défense et l'habitat populaire dans les pays scandinaves, sans doute hérité des bâtisseurs viking danois qui l'utilisaient entre la fin du VIII^{ème} siècle et le XI^{ème} siècle sur l'ensemble des territoires d'Europe septentrionale. La fortification de Solvig, au Danemark, datée du XIV^{ème} siècle, a révélé l'un des exemples les mieux conservés de ce procédé de construction en mottes de gazon empilées. En Amérique centrale ou latine, le matériau est connu sous le terme de "*terrón*". On connaît encore l'utilisation de la tourbe dont l'exploitation ne fut pas limitée à la constitution de réserves de combustible de chauffe ou de cuisson. Les gisements de tourbe fournissaient aussi des mottes ou blocs de matériau terreux et organique qui servaient à construire des murs d'habitats. Ceux-ci étaient en partie creusés dans l'épaisseur des sols de tourbe et parfois complétés par l'empilement de mottes gazonnées. On connaît aussi l'utilisation de ces matériaux en remplissage d'ossatures en bois rustiques ou de systèmes de murs-palissades en dosses et planches de bois grossièrement équarries (principe de la construction en "*blockbau*" et « *stabbau* » des régions germaniques) qui furent largement développés tout au long du Moyen Âge. Ces principes de construction ont été aussi utilisés à ces mêmes époques sur les territoires de Russie et en Pologne orientale, dans les grandes plaines drainées par le Dniestr et le Dniepr, entre la Baltique et la Mer Noire, ainsi que par le Don et la Volga jusqu'aux rivages de la Mer Caspienne. Il s'agissait d'habitat faits de rondins de bois, à demi enterrés, dont un seul pignon s'ouvrait au Sud. Les mottes de terre venaient en appui contre les parois-palissades, pour les soutenir, et servaient également à couvrir les toitures, jouant aussi le rôle d'une masse d'inertie thermique accumulant la chaleur du foyer. La technique de construction en "*sod*" ou "*turf*", d'origine anglo-saxonne fut également employée par les colons partant s'installer aux États-Unis d'Amérique, à la fin du XVIII^{ème} et au début du XIX^{ème} siècle, notamment dans les États du Missouri et du Nebraska. On la retrouve aux mêmes époques en Australie (Victoria), utilisée par les colons originaires des îles britanniques et d'Europe septentrionale. Un autre mode d'utilisation de la terre découpée consiste à tailler des blocs de terre dans l'épaisseur de sol dont la nature s'apparente à celle d'un conglomérat tendre ou dans des croûtes latéritiques de surface en processus d'induration (durcissement à l'air). Il s'agit des "*tepetate*" au Mexique, de la "*caliche*" aux États-Unis d'Amérique, du "*mergel*" en Hollande ou du "*tuf*" dans la plupart des pays méditerranéens. La communication présentée fait le point sur les aspects historiques et techniques de la construction en mottes de gazon et blocs de terre découpée. En outre, elle montre son renouveau associé à des actions muséales et à des préoccupations environnementales et économiques. Des exemples d'architecture d'habitat récemment réalisés en "*terrónes*", en Uruguay (région de Montevideo), mettent cette actualité en lumière.

I - Quelques références sur l'antiquité et le Moyen Âge

I.1. - Pline l'ancien et Tacite (1^{er} s. ap. J.C.)

On repère l'utilisation des mottes de gazon en construction dans quelques rares textes anciens. Pline l'ancien, dans son « Histoire naturelle »¹ l'évoque à propos d'ouvrages militaires et d'infrastructures publiques : tours et remparts, fossés et barrages. « Et puis n'y a-t-il pas en Afrique et en Espagne, des murs de terre, appelés *formacei* (faits à la forme, ou au moule), car ils sont construits par bourrage dans un moule composé de deux panneaux placés de part et d'autre, plutôt que véritablement édifiés : ils durent des générations, inattaquables à la pluie, au vent, au feu, et sont plus solides que toute espèce de moellons. L'Espagne peut encore voir les postes d'observation d'Hannibal et ses tours de terre placées sur les chaînes de montagnes. De même nature sont les mottes gazonnées employées pour le retranchement des

¹ Pline l'ancien 1^{er} s. ap. J.C., in *Histoire naturelle*, Livre XXXV, XLXIII.

camps et pour les digues destinées à contenir l'assaut des fleuves ». Toujours à la même époque, chez Tacite, dans « Germania »² où il évoque l'habitat des Germains : « ils n'emploient même ni moellons, ni tuiles, à toutes fins ils se servent de matériaux bruts, sans se soucier de la beauté ou de l'agrément ; certaines parties sont enduites plus soigneusement d'une terre si pure et si brillante qu'elle imite la peinture et des traits couleur ». On peut encore se demander à quoi ressemblaient vraiment ces matériaux bruts (« *materia informi* » comme le dit le texte de Tacite). L'assimilation à du torchis sur clayonnage a été souvent faite, en référence à des sites moyenâgeux plus tardifs (seconde moitié du VII^e s.- fin du VIII^e s.), situés en Allemagne, comme Warendorf (Westphalie) ou Gladbach (Rhénanie) et notamment à propos des 57 fonds de cabane (*Grubenhäuser*) qui ont été découverts sur ce deuxième site. Mais, compte tenu du contexte culturel (Europe tempérée septentrionale), il y aurait lieu de s'interroger sur le possible emploi de paquets de terre ou de mottes gazonnées, culture constructive très présente dans ces régions.

I.2. - La construction en mottes de gazon au Moyen Age

Au cours du Moyen Age, les îles britanniques et le Danemark ont développé la construction en mottes de terre empilée. Il convient de relever à nouveau les exemples connus des sites anglais (Devon) de Hound Tor et de Lydford, ainsi que la fortification danoise de Solvig (Jutland, XIV^e s.) qui est l'un des plus beaux du genre en Europe du nord. Jean Chapelot et Robert Fossier³ dans leur célèbre ouvrage « Le village et la maison au Moyen Age » y font référence tout en évoquant la perdurance de cette culture constructive jusqu'au XIX^e s. : « Ce matériau était encore très utilisé aux XVIII^e et XIX^e siècles dans les zones européennes froides et venteuses et à sol argileux, où l'herbe pousse bien drue : Danemark, Norvège, côtes de l'Allemagne du Nord, Islande, provinces de Drenthe et de Veluwe aux Pays-Bas, Irlande, Campine en Belgique, plusieurs régions de France et de Grande-Bretagne comme l'Ecosse. Dans ce pays par exemple, aux XVIII^e et XIX^e siècles, la majorité des maisons paysannes utilisaient encore avant tout ce matériau comme le montrent les descriptions et les récits contemporains de voyage. Les mottes de gazon étaient découpées, à l'aide d'un outil tranchant, en éléments rectangulaires un peu plus grands qu'une brique. Le village anglais de Hound Tor fournit un bon exemple de construction par empilage de mottes de gazon contre un clayonnage. Dans les sites allemands du bord de la mer du Nord, le gazon était souvent utilisé, comme les mottes de tourbe, sous la forme d'un muret large et peu élevé. Mais c'est sans doute la fouille de la fortification danoise de Solvig qui a fourni à ce jour l'exemple le mieux conservé puisque dans la coupe du mur ou son décapage, les mottes de gazon étaient encore visibles distinctement. Dans quelques cas, le gazon était aussi utilisé comme le matériau de couverture, l'herbe étant placée vers le haut. L'emploi de ce matériau pour la construction est lié à une certaine forme d'agriculture fortement conditionnée par la présence abondante du gazon. La richesse du vocabulaire du gazon en allemand et surtout en anglais est la preuve directe de l'importance de cette agriculture et indirectement de l'ampleur d'usage de ce matériau dans la construction de ces mêmes régions ». Par la suite Chapelot et Fossier évoquent la tradition des îles britanniques sur laquelle on reviendra. Dans une autre étude plus récente, Jean-Marie Pesez⁴ y fait aussi référence en signalant les travaux remarquables de J. Hertz⁵ sur le site de Solvig : « Plus exceptionnelle, la construction en mottes de gazon (*turf*), attestée en Angleterre aussi bien sur le site rural de Hound Tor que sur le site urbain de Lydford (tous deux dans le Devon) faisait appel à un clayonnage pour maintenir en place ce matériau. La construction en *turf* se maintiendra longtemps dans les constructions rustiques des pays riverains des mers du Nord, où l'herbe pousse drue. On en connaît des exemples sub-actuels, voire même contemporains, de la Scandinavie à l'Islande, l'Ecosse, l'Irlande. Et on voit ce matériau employé dans le Jutland au XIV^e s. même pour les bâtiments d'une maison-forte. A Solvig, sur des îles construites elles-mêmes en gazon, dans le cours de la rivière, on a édifié plusieurs bâtiments en « carreaux » de gazon, larges de 60 à 70 cm et épais d'au moins 10 cm, assemblés par de longues chevilles en bois : dans l'un de ces bâtiments, de 4,40 x 4,90 m (dimensions intérieures), les murs épais de 2,90 m étaient constitués de quatre lignes de ces carreaux, tandis que des poteaux implantés dans les murs soutenaient la toiture ».

II – Les grandes traditions vernaculaires de la construction en mottes de gazon

L'Ecosse a connu aussi une tradition très ancienne de construction en mottes de terre gazonnées. L'iconographie ancienne et des photographies datées du début de ce siècle, permettent d'attester l'existence de maisons populaires ainsi construites. C'était la plupart du temps un système constructif de murs-bahuts qui recevaient en butée une charpente rudimentaire de bois ronds, en forme de pannes portées par des charpente *crucks* constituées de deux arbalétriers et d'un

² Tacite 1^{er} s. ap. J.C., in « Germania », XVI, 3.

³ Chapelot et Fossier, 1980, in « Le village et la maison au Moyen Age », pp. 265-266.

⁴ Pesez 1985, in DAF n°2, p. 163.

⁵ Hertz 1973, référencé par Chapelot et Fossier, 1980, op. cit.

entraîné retroussé, posées à même le sol. Celui-ci était souvent excavé comme pour les fonds de cabane du Moyen Age (X^os.). Ce fut le cas dans les régions où dominait l'exploitation de la tourbe. L'habitat y était souvent en partie creusé et recouvert d'une toiture en terre et mousse. Ce sont les *moss-houses* du Stirlingshire qui furent repérées par un peintre du nom de Joseph Farrington, en 1792. Ce type d'habitat aurait existé jusque vers 1880, notamment pour construire des réserves de pains de glace et des réserves utilisées par les pêcheurs de saumon de la côte ouest écossaise. Un récent travail réalisé par la Division de la Conservation technique, de la Recherche et de l'Education du Historic Scotland ⁶, prolongeant des études antérieures ⁷, a permis d'inventorier les procédés de construction en terre écossais. Ce travail est particulièrement intéressant pour le repérage des différentes techniques de construction en terre et pour la restitution d'un glossaire régional. Une grande partie de l'habitat des populations rurales les plus pauvres d'Ecosse, a été construit en mottes de terre gazonnée, technique actuellement plus connue sous le terme générique de « *sod* », directement inspirée des procédés d'extraction des tourbières. Le procédé est aussi connu sous d'autres appellations locales comme le « *turf* » ou encore « *green turf* », le « *peat* » ou « *moss* » (maisons creusées dans la tourbe ⁸), le « *divot* » que les irlandais appellent « *scraws* » (pour les mottes de toitures gazonnées) ou encore le « *fale* », « *fail* » ou « *feal* » pour ce qui est d'une construction en mottes de plus grosse taille que l'on dénomme encore « *pones* » dans les Shetlands. Walker et McGregor (1994) précisent même que cette terminologie est loin d'être exhaustive si l'on prend en compte les variantes de la terminologie Gaélique employées dans les Highlands d'Ecosse, dans les îles et en Irlande. Il fut utilisé dès l'antiquité comme les recherches archéologiques le prouvent par les vestiges du Mur d'Antonin construit en 143 ap. J.C. La découpe des mottes de gazon était généralement faite au moyen de bèches à lames tranchantes consolidées, dénommées « *flaughter spades* » le plus souvent employées pour la découpe des blocs de tourbe. Il en existe de différentes sortes, selon les traditions locales que Walker et McGregor présentent dans leur autre étude précédemment référencée (1996). La construction en mottes de terre gazonnées demandait un savoir-faire assez élaboré car il fallait contrôler le tassement des assises successives. De même pour assurer une liaison horizontale des blocs pour chacun des lits de pose. Ainsi, les constructeurs ont imaginé d'utiliser des mottes taillées en forme de parallélogramme qu'il bâtissait d'un lit à l'autre, alternativement, en appareil dit « d'arête de poisson », les mottes donnant l'impression d'être couchées les unes contre les autres. Des chroniques de la fin du XVIII^{ème} siècle rapporte que les mottes de *turf* était coupées au printemps, lorsque la pousse des herbes était réactivée, de façon à disposer d'un matériau riche en racines. Les mottes étaient directement utilisées à l'état frais pour que les racines continuent de croître dans l'épaisseur du mur, cela améliorant la liaison mécanique des blocs entre eux. D'autres habitats, de meilleure qualité, ont pu associer la pierre et les mottes de terre gazonnée bâties en lits alternés. Ce procédé améliore la résistance mécanique des murs mais exigeait une grande régularité de taille des pierres et des mottes. Des solutions mixtes ont été développées comme en attestent les « *shelling huts* » construites au cours de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. Ce sont des habitats de forme circulaire avec des murs en pierres bâties à la chaux, en parement intérieur, et des mottes de *turf* en parement extérieur élevées sur un soubassement de pierre. Parfois, le système construit est inversé avec les pierres en parement extérieur et les mottes en intérieur. Les toitures de ces huttes sont en bois également recouvertes de mottes herbues. Ce type d'habitat a aujourd'hui disparu ⁹.

Les bâtiments de Glaumbær sont datés de périodes différentes ayant été successivement dressés aux XVIII^o et XIX^o siècles. Il s'agit d'un exemple typique de construction en mottes de gazon qui a été généralement développé dans les territoires ruraux d'Islande, jusque vers 1900. Cette pratique constructive a été ensuite remplacée par le béton qui caractérise la quasi totalité de l'architecture islandaise actuelle. L'utilisation des mottes de gazon en Islande est très ancienne du fait d'un manque d'arbres à gros fûts sur l'île bien que les ancêtres scandinaves aient principalement utilisé le bois qu'ils durent sans doute importer en grande partie, au moins pour les éléments de structure de grosse taille. Le principe constructif des bâtiments de la ferme de Glaumbær consiste à la fois en des parois en mottes inclinées (appareil en épi, Fig. 1) et en des enveloppes de planches minces dressées en dosses verticales et enserrant un remplissage de mottes (façade principale, Fig. 2). Celles ci sont également utilisées pour la couverture des toitures, en couche épaisse. L'herbe islandaise est très drue et dense, munie de grosses racines. Elle constitue un tissu végétal très résistant. Dans les régions à précipitations modérées de l'île, la durée de vie de ces bâtiments a été estimée à environ un siècle pourvu que la toiture présentât une inclinaison adaptée. En effet, lorsque celle-ci est insuffisamment inclinée, l'eau passe et si elle

⁶ Walker et McGregor 1996, in « Historic Scotland Technical Advices Notes n° 6 ».

⁷ Walker, McGregor et Stark 1994, in « Out of Earth », pp. 26-36.

⁸ Walker et Al, 1994, op.cit. p. 27. Les auteurs rapportent une description remarquable des « *mosshouses* » datée du XVIII^o s. : « *The people engaged in this work have their houses in the moss. These are at first sometimes built of sod, supported by a frame of wood, laid on the surface of the moss, but as soon as any progress is made in clearing the ground, they are cut out of the moss itself. For that purpose, a drain is cut through the moss, and at least a foot deep into the clay, as far as the intended house is to reach ; a space from two to six yards wide is then cleared all round it ; and lastly the area of the house is also cleared, leaving a wall of moss on every side, about four feet and half thick, at bottom, and three thick at top. (...) The gables are completed with sod or mud* ».

⁹ Réf. : Article sur l'écomusée de Glaumbær, édité en français, 6 p., assorti d'un dessin en plan et façade principale de la ferme. 3 tirages photographiques en papier couleur complémentaires. Documentation CRATerre-EAG.

est trop escarpée le gazon tend à se lézarder en période de sécheresse car l'eau s'écoule trop rapidement et ne permet pas à l'herbe de se régénérer laissant également l'eau passer. Il est assez difficile de réaliser des constructions de grande taille en mottes de gazon bien que cela fut fait en d'autres régions du monde (fermes du Nebraska aux U.S.A., p.e. sur lesquelles on reviendra). Mais dans l'ensemble, les espaces ou pièces d'habitation sont relativement petites et



Fig. 1 : Ferme-musée de Glaumbær, vue latérale.
Documentation CRATerre-EAG.



Fig. 2 : Ferme-musée de Glaumbær, façade principale.
Documentation CRATerre-EAG.

séparées. Ainsi, dans le cas de la ferme de Glaumbær, les pièces d'habitation ou de stockage sont-elles accessibles soit par l'extérieur, directement en façade, soit par un très long couloir intérieur. Celui-ci mesure 22 mètres de long et outre la porte d'accès extérieur, il est muni de 2 autres portes intermédiaires servant de coupe-froid. Il dessert, y compris deux pièces également accessibles en façade, un ensemble de 7 pièces, soit 9 espaces d'occupation domestique. Les deux pièces de la façade orientée à l'ouest sont des chambres d'amis, tardivement construites, en 1841, alors que les autres espaces directement accessibles en façade et complètement séparés sont principalement des dépôts complétés d'une forge et d'un bûcher. Le couloir intérieur dessert successivement une laiterie et une cuisine, deux espaces de garde-manger, un lieu d'aisance et une pièce d'accès latéral orientée au sud, puis enfin la grande pièce principale de séjour ou « *baóstofa* ». La cuisine est identifiée comme la partie la plus vieille de la ferme, construite au milieu du XVIII^e s. et utilisée jusqu'en 1900. Elle servait aussi de fumoir et permettait de préparer des repas pour une vingtaine de personnes. Le combustible de cuisson ordinaire était la tourbe ou l'excrément de mouton séché (inodore). La « *baóstofa* » a été construite plus tardivement, vers 1876. Ce séjour familial contenait 11 lits usuellement partagés par 2 personnes qui y travaillaient et mangeaient en position assise, et y dormaient. Chaque personne disposait d'un bol à couvercle, l'« *askur* », posé sur une étagère murale recevant la nourriture apportée des gardes-manger (grand et petit), pièces froides permettant l'emmagasinage et la conservation des denrées et aliments préparés. Les principaux travaux réalisés dans la « *baóstofa* » consistaient en cardage de la laine de mouton, filage au rouet et couture de vêtements pour les femmes, et confection de cordes de crin de cheval pour les hommes. Dans un tel entourage restreint qui pouvait accueillir jusqu'à 20 personnes, seule une conduite mutuelle de respect et de tact permettait de contrôler les frictions et s'imposait en règle de conduite. On doit ici relever les très bonnes caractéristiques d'isolation des mottes de gazon car cette pièce n'était pas chauffée et maintenait la propre chaleur animale des occupants par ailleurs chaudement vêtus de lainages.

III – Les maisons en sod des immigrants européens aux Etats-Unis, en Australie et Nouvelle Zélande

III.1. - Le sod aux Etats Unis

Une publication d'un architecte new yorkais de la fin du XIX^e siècle, David W. King ¹⁰, prête attention à la construction des maisons à moindre coût en *sod*, dans les régions de prairies. L'auteur relève l'intérêt de ce matériau de construction, accessible à portée de main, pour les foyers ruraux à très bas revenus qui ne peuvent acquérir et utiliser les matériaux modernes contemporains de l'époque encore très mal distribués par le réseau ferroviaire ignorant de vastes régions, de fait très enclavées. Ce type de construction a été celui de quelques fermiers pionniers dans les régions des

¹⁰ King 1896, in « Homes for Home-Builders ».

grandes plaines du centre nord des Etats-Unis. Seules quelques pièces de bois étaient nécessaires pour les cadres d'ouvertures, portes et fenêtres en nombre réduit, préfabriqués voire montés sur place par simple clouage. D'autres pièces de bois étaient noyées dans la masse des parois en mottes accumulées, notamment au voisinage des angles. Les mottes étaient prélevées dans l'environnement immédiat de la construction à même la surface d'un sol herbeux ou « *turf* » libre de pierres ou graviers. Le matériau était extrait à l'aide d'une charrue décapant une couche de sol épaisse d'environ 10 cm. Puis les mottes étaient découpées à la bêche aux dimensions de l'ordre de 45 x 60 cm ce qui indique des épaisseurs de parois pouvant aller jusqu'à 90 cm, soit avec une pose en double épaisseur d'appareil en panneresses à joints décalés, soit en appareil à boutisse avec des mottes aux pleines et demi dimensions, comme le précise David W. King par des croquis sommaires. Les parements extérieurs et intérieurs étaient réglés à la hachette donnant aux mottes une apparence de briques de terre crue. Certains murs pouvaient aller jusqu'à 1,20 m. d'épaisseur avec des mottes de 60 cm de long posées en boutisse en double épaisseur. L'auteur justifie cette épaisseur par la hauteur des murs de ces petites maisons de plain-pied pouvant atteindre 2,60 m. Les modèles de maisons présentés montrent des contreforts extérieurs bâtis au droit des jambages des portes afin d'améliorer la stabilité des murs exposés à de l'élancement. Parfois, selon les moyens des constructeurs, des traverses horizontales en bois étaient disposées en partie haute des parois en mottes qui faisaient office de chaînage.

Les « *soddies* » du Nebraska

Un autre ouvrage remarquable de Roger L. Welsch ¹¹ fournit une documentation historique, ethnologique et architecturale de toute première importance sur les « *soddies* » (maisons en sod) construites aux Etats-Unis et particulièrement au Nebraska. Ce livre de Roger L. Welsch, publié en 1968, restitue en fait une partie d'un fantastique travail de repérage et d'inventaire photographiques réalisés entre 1886 et 1892 par Solomon Devoe Butcher, médecin et photographe amateur s'étant passionné pour ce sujet couvrant la vie des pionniers mormons du Nebraska. Une passion jugée à l'époque dérisoire mais qui fournit un ensemble de 1500 clichés rassemblés dans une collection de 8 albums déposés à la Société Historique de l'Etat du Nebraska. Pour l'anecdote, il convient de savoir que les 1500 clichés qui demeurent sont ceux qui furent sauvés d'un incendie qui ravagea le bureau de Butcher et un énorme travail accompli pendant 7 ans lui ayant permis de collecter plusieurs milliers de photographies. Ces clichés ne rendent pas seulement compte de la dimension architecturale de cet habitat en *sod* mais aussi de scènes de vie, portraits et événements constituant une documentation ethnographique exceptionnelle. Ce dessein de conservation de la mémoire était associé à l'idée de consigner l'histoire récente du Comté de Custer inaugurée 20 années plus tôt. Cette tentative d'écriture de l'histoire fut menée à son terme car Butcher publia sa « *Pioneer History of Custer County* » mais comme le relève Welsch, plutôt que d'écrire l'histoire, Butcher a ainsi davantage restitué des « histoires » de vie de familles et de villages dans une région où les *soddies* furent le mode d'habitat le plus couramment utilisé. Aujourd'hui, le travail de Butcher permet-il de relier ces pratiques d'habitat aux cultures constructives des pays européens, îles britanniques, pays d'Europe septentrionale d'où furent originaires la plupart des familles de colons s'installant « en Amérique » ? Comme le relève Welsch, la plupart de ces familles rurales venaient des régions de l'Est ou du « Midwest » où la construction rurale privilégiait plutôt la technique des « *log houses* » (ou « *log-cabins* ») consistant en des structures en empilement de troncs calés entre eux par du mortier de terre. Les toitures étaient en bardeaux de bois. C'est aussi le cas des familles d'origine scandinave, avec une technologie encore plus élaborées car les assemblages des troncs étaient à joints secs. Quant aux familles paysannes d'origine européenne, n'apportaient-elles pas plutôt une culture constructive du colombage hourdé de torchis ou de briques, voire de la pierre, et de la couverture en chaume ou en tuiles ? On peut ici objecter à Welsch de ne pas avoir connaissance de l'existence de cette culture des mottes de gazon dans la plupart des régions d'Europe septentrionale qu'il évoque. Il est vrai que celle-ci, au moment où il écrit son ouvrage (1968) a totalement disparu et que les recherches historiques y portent encore peu attention. Mais depuis ces trente dernières années, l'avancée de ces recherches dans les pays nordiques d'Europe et les îles britanniques attestent d'un large emploi du gazon dans les constructions rurales, depuis le Moyen Age. Quelle que soit la filiation possible avec les habitats en *sod* du Nebraska, le travail de Butcher présente aujourd'hui un réel intérêt car il documente certains invariants techniques d'une culture constructive qui fut antérieurement portée à un haut degré d'élaboration et qui peuvent faire l'objet d'analyses comparées, dans l'espace comme dans le temps. De même, ce travail relie en partie aux cultures constructives des indiens de ces régions de prairies du Nebraska qui utilisèrent également les mottes de gazon pour construire leur habitat, à l'exemple des tribus Omaha, et qui auraient pu être source d'inspiration pour les familles de colons qui, quelle que fut leur origine d'immigration et leurs référents culturels, durent être bien démunies en s'installant dans ces vastes plaines dépourvues de bois de construction et de pierres. Au-delà de cet aparté, la lecture du fonds photographique de Butcher réalisée par Roger L. Welsch, augmentée d'un travail documentaire sur des constructions en *sod* plus récentes et d'entretiens complémentaire est intéressante car elle combine l'approche personnalisée - portant sur des aspects significatifs du mode de construction en *sod*, les outils et équipements -

¹¹ Welsch 1968, in « *Sod walls. The story of the Nebraska Sod House* ».

ethnologique et folklorique, en valorisant la structure familiale, la décoration des maisons et la vie paysanne, y compris un choix de « *sod house songs* » (chants populaires des *soddies*), en fin d'ouvrage. Le propos de cette étude valorise le premier aspect de cette double approche bien que d'autres aspects méritent attention.



Fig. 3 : Maison en sod au Nebraska. Famille Haumont, Comté de Custer. © Collection Solomon Butcher ; Société Historique du Nebraska. D'après R.L. Welsch (1968).



Fig. 4 : Maison en sod au Nebraska. © Collection Solomon Butcher ; Société Historique du Nebraska. D'après R.L. Welsch (1968).

Qualité climatique des *soddies*

Welsch relève aussi l'aspect de l'adaptation climatique des *soddies* à leur milieu ambiant à travers quelques témoignages issus d'histoires de pionniers (« *Pioneer stories* »). En voici deux : « *The snow lay on the ground a long time, and the winter was cold. We had no coal but the house, built almost half underground with walls three feet thick and a dirt roof fifteen to eighteen inches thick, didn't need much fuel. We had no radiators nor water pipes to thaw in those days (Mrs Hope Gates Swick, Pioneer Stories).* » (Trad. : « La neige était là depuis longtemps et l'hiver était froid. Nous n'avions pas de charbon mais la maison, presque à demi-enterrée disposant de murs en terre épais de 90 cm et d'un toit également en terre d'environ 35 à 45 cm d'épaisseur n'exigeait pas plus de combustible. A cette époque, nous n'avions pas de radiateurs ni d'eau qui risquaient de geler »). Et : « *Some of the present generation think it must be very unpleasant to live in a sod house, but I'm telling you they are most comfortable all year around house I ever lived in ; they are cool in summer and warm in winter and the elements don't bother you unless the roof leaks, which sometimes happens (Herman Albert, Pioneer Stories)* ». (Trad. : « Beaucoup dans la génération actuelle pensent que ce doit être très gênant d'habiter une maison en *sod* mais je vous dis qu'elles sont plus confortables que toutes les maisons que j'aie pu habiter, toute l'année ; elles sont fraîches en été et chaudes en hiver et vous abritent des éléments tant que leur couverture ne glisse pas, ce qui arrive parfois »). En effet, ces maisons massives offraient une excellente résistance aux vents violents et tornades qui soufflent régulièrement sur cette région de plaine. Seules les toitures étaient plus exposées. Une maison en ossature bois (« *frame-wall* ») n'y résisterait pas et serait totalement détruite. De plus, le *sod*, même sec, offre une excellente résistance au feu et même les plus grands feux de prairie, en saison sèche, les ont le plus souvent épargnées.

Implantation et construction des *soddies*

Pour s'installer, les colons du Nebraska choisissaient des terres riches, plutôt couvertes de sols noirs et d'une bonne herbe, veillaient à la présence d'eau (ruisseau) et cherchaient aussi à s'abriter des vents violents en adoptant le pendage d'une dépression naturelle ou un petit canyon, en s'adossant à une petite falaise, tout en se préservant du risque d'inondation. Ils essayaient de ne pas trop s'éloigner des communautés déjà installées, par sécurité et pour l'agrément du voisinage, ni des voies de communication (chemin carrossable ou voie ferrée) pouvant faciliter leur déplacement vers une plus grosse agglomération pour leurs achats. Ces sites d'élection étaient rarement isolés. Les premiers bâtiments élevés étaient parfois adossés à des talus et mi-enterrés, en forme de « *dugouts* » (maisons creusées), qui leur apportaient une protection naturelle contre les éléments et une paroi d'appui. Cela leur permettait aussi une économie de travail pour la construction des premiers murs. Les sols herbeux et argileux de ces sites de dépression naturelle, présentant un bon degré d'humidité, fournissaient d'excellentes mottes de gazon, denses, solides et couvertes d'une herbe drue. La plupart de ces maisons en *sod* furent au départ de forme simple et de petite taille. Un plan rectangle d'environ 4 à 5 mètres de large par 6 à 8 mètres de long (la dimension 5 x 6,5 m ayant été fréquente), ou des plans carrés aux tailles plus modestes (4 x 4 ou 5 x 5 mètres) comme en témoignent les histoires de pionniers consignées par

Welsch. Des plans plus élaborés mais plus tardifs ont aussi adopté des formes en « L » ou en « T » contribuant bien sûr à d'autres distributions des espaces habitables mais aussi à une protection contre les éléments extérieurs dominants (pluies, vents), avec l'agrément d'une petite terrasse ou cour ouverte abritée. Il y a eut aussi des formes rondes, voire polyédriques (hexagonales ou octogonales), mais plus rares. Une fois la forme du plan choisie, en fonction des besoins et des moyens de la famille, la construction pouvait commencer, généralement à même le sol, préalablement décapé de sa couverture herbeuse et nivelé. En effet, rares sont ces maisons en *sod* qui auraient disposé de fondations.

La découpe des mottes de gazon

Welsch documente le mode de production des mottes de gazon à partir de témoignages issus des histoires de pionniers et d'entretiens locaux. Le site d'extraction était le plus proche possible de la construction afin de limiter la distance de portage des mottes qui se faisait à l'aide d'une charrette (du champ au chantier) puis de châssis ou chaises en bois (de la charrette au pied du mur). Généralement, au champ, un pré-découpage des mottes était effectué avec un instrument tranchant, soit une bêche, soit un outil à lames dérivé d'un plantoir à maïs, ou plus récemment avec une sorte de disqueuse manuelle. Ces outils étaient enfoncés dans le sol jusqu'à une profondeur idéale d'environ 10 cm correspondant à l'épaisseur moyenne des mottes. Ces pré-découpes réglaient la longueur des mottes, sur 60 à 90 cm.

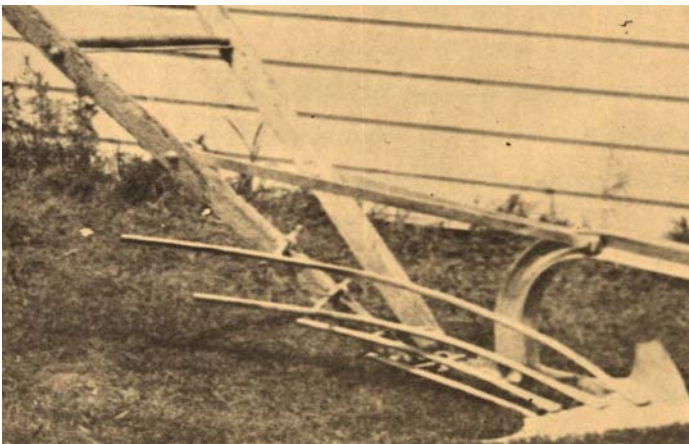


Fig. 5 : La « sauterelle » (*grasshopper*). Araire spécialement conçue pour découper les mottes de sod. © Collection Solomon Butcher ; Société Historique du Nebraska. D'après R.L. Welsch (1968).

Elles étaient faites dans le sens perpendiculaire à la direction de passage de la charrue qui viendrait ensuite les soulever cela permettant de réduire de moitié la tâche de pré-découpage des mottes (dans leur longueur et largeur). Si l'herbe était trop haute, il fallait la faucher au préalable en gardant une taille de pousse d'environ 10 cm ; cela garantissait une bonne tenue de la motte et sa compacité. Welsch rapporte que la charrue était d'une conception spécifiquement adaptée à ce travail d'extraction des mottes de façon à ne pas les abîmer. Le soc de cette araire était traditionnellement triangulaire, à la fois horizontal et vertical, légèrement concave, et muni de guides permettant de soulever et faire basculer les mottes tout doucement. Ainsi, un ruban continu de sol herbeux épais de 7 à 15 cm et large de 30 à 45 cm était retourné qui se divisait en mottes de longueur égale (60 à 90 cm) grâce au pré-découpage du sol dans le sens orthogonal. Cette araire spéciale était dénommée « sauterelle » (« *grasshopper* », Fig. 5). Peu de nouveaux colons en disposaient et elle leur était prêtée par les rares agriculteurs qui en disposaient en échange de la force de travail pour les moissons. Par la suite, cette activité de construction des *soddies* ayant pris de l'importance, un certain Randall Sargent imagina un modèle d'araire de conception plus économique, en bois d'orme, dérivée d'un outil dont il avait usé en Iowa, « l'antilope » (« *antelope* »). Il en produisit près d'une centaine pour répondre à la demande des nombreuses familles désirant construire en *sod*. Ces charrues, « sauterelles » ou « antilopes », étaient tractées soit par des chevaux de trait ou des bœufs, ces derniers étant préférés car ils se meuvent plus lentement et permettent une meilleure régularité de découpe des rubans de mottes herbeuses. Les dimensions courantes des mottes que l'on a relevé correspondent à une manutention assez facile mais dépendent de plusieurs facteurs : l'épaisseur de la couche de terre noire herbeuse, la teneur en eau du sol et la force des hommes. Plus le sol est épais et plus il est humide, plus les mottes sont de petite taille car plus lourdes. Ce facteur de l'humidité du sol doit être considéré avec attention car il garantit la bonne tenue des mottes qui vont être directement utilisées dans la construction, le jour même. Aussi, l'extraction des mottes se faisait généralement le matin et en quantité correspondant au travail de construction à accomplir dans la journée. Les mottes qui séchaient trop longtemps à l'air ou rapidement desséchées à cause des vents de plaine, n'étaient pas utilisées.

La construction des murs en sod

Les murs de *sods* étaient très épais car les mottes étaient posées alternativement en panneresses et boutisses, à joints verticaux décalés, sur 90 cm d'épaisseur ou 60 cm pour les plus petites maisons. La pose des mottes commençait toujours par les angles de la construction, cela permettant de régler la hauteur des rangées successives, comme on le fait en construisant en briques ou même en pierres. Les mottes étaient généralement posées sans mortier et à l'envers, la face herbeuse vers le bas (« *grass-down* »), mais des témoignages consignent un sens normal (« *grass-up* »). On ne dressait au maximum que 3 à 4 lits successifs de mottes de façon à ce que s'opère un bon tassement sous l'effet de la charge propre. Il fallait que chaque lit de pose fût achevé avant de commencer le suivant et s'assurer d'un bon nivellement. Les éventuels trous et cavités étaient immédiatement comblés avec de la terre. Pour les *soddies* les mieux construites – selon les moyens dont disposaient les familles – des planches en bois faisant office de renfort-chaînage horizontal étaient insérées tous ces 3 ou 4 rangs de mottes. Il fallait s'assurer de bien maintenir la verticalité du mur en dressant les couches successives car celui-ci pouvait flamber et s'effondrer partiellement en cours de chantier. Certaines maisons présentaient un fruit extérieur afin d'améliorer cette stabilité verticale et parfois, la base des murs et les angles étaient renforcés par une sorte de masse extérieure constituée de 3 à 4 rangs de mottes posées au-delà du plan du mur. Cette masse constituait une forme d'usure exposée à la pluie et aux ruissellements que l'on pouvait réparer périodiquement. D'autres maisons étaient munies de contreforts extérieurs au droit des angles ou même des jambages de portes. Sur la répartition des tâches, c'était généralement les hommes qui construisaient alors que leurs femmes les aidaient en réglant aussitôt les parements des mottes à l'aide d'une hachette ou d'une lame de bêche. Ce réglage leur donnait une apparence de briques de terre crue.

La pose des menuiseries et linteaux de baies

Les précadres de portes et fenêtres, correspondant à toute l'épaisseur du mur, conçus en simples planches clouées épaisses de 2,5 cm (« *one-inch* »), étaient insérés aux endroits prévus. Des étais provisoires (bois fourchus) les maintenaient en place, le temps d'élever et poser les mottes de chaque côté des jambages. La fixation de ces précadres en bois se faisait à l'aide de longues chevilles en bois pénétrant profondément les mottes, en leurs parties hautes et basses. Au dessus de chacun de ces précadres, 3 à 4 bois ronds de forte section étaient disposés en parallèle, constituant un linteau présentant d'importantes longueurs d'appui (de l'ordre de 90 cm) de part et d'autre des jambages. On prévoyait le tassement de la maçonnerie de mottes de gazon en ménageant un espace entre ces bois ronds de linteau et le dessus du précadre de baie (les jambages de mottes fraîches étant légèrement plus hauts que le précadre) que l'on bourrait de papier ou de lambeaux de tissu.

Couvertures en sod

La plupart du temps, les couvertures des *soddies* étaient également en mottes de gazon. Le bois était rare et cher. Même s'il fallait prévoir des poutres solides pour supporter le poids des mottes en couverture, l'économie de « *shingles* » en bois (bardeaux) restait très substantielle. Mais l'acquisition des poutres en bois était toujours un problème. Soit les familles étaient en mesure de les acheter chez des négociants installés dans les agglomérations les plus proches, soit il fallait aller les couper dans les régions plus montagneuses et boisées en cèdres, situées au nord-ouest des grandes plaines, du côté de « *Victoria Spring* ». D'une manière générale, les toitures en *sod* présentaient des pentes assez faibles car les constructeurs économisaient leur travail de maçonnerie en n'élevant pas les pignons trop hauts. Mais cela posait très souvent des problèmes d'étanchéité qui ont été en partie résolus pour les périodes plus récentes grâce à l'emploi de papier goudronné posé au-dessus des voliges de charpente. Avant cette solution, il fallait définir une pente de couverture assurant un compromis entre l'étanchéité (pas trop faible) et le risque de glissement des mottes (pas trop raide). Mais, pour des raisons d'économie de bois, les familles ont souvent préféré des couvertures moins pentues même si elles étaient exposées à des fuites. La plupart de ces maisons en *sod* des fermiers du Nebraska, sont restées très modestes. Comme l'évoque Welsch dans son texte, même si elles pouvaient représenter un investissement en matériaux indispensables (cadre de baies en planches et quincaillerie de base) de l'ordre moyen de 30 dollars de l'époque – ce qui paraît dérisoire aujourd'hui – c'était alors beaucoup d'argent pour de bien pauvres gens. Ces maisons modestes, dans leur taille initiale, étaient bâties en une à deux semaines. Bien rares furent celles, plus remarquables, qui furent presque de véritables manoirs comme la très célèbre « *Gordon Haumont House* » située dans le Comté de Custer près de Broken Bow, qui est l'un des joyaux de la collection photographique de Solomon Butcher, reproduite en dessins dans de nombreuses publications (Fig. 5 et Fig.6).

III.2. - Le sod en Australie

Traitant de l'architecture primitive en Victoria, Miles Lewis¹² conteste l'idée communément adoptée que les toutes premières constructions d'immigrants européens en Australie furent principalement réalisées en torchis. Il pense que les « *turves* » et « *sods* » ont été aussi utilisés pour la construction des premiers établissements bien que peu de documentation locale existe. Il semble se référer à des sources d'origine américaine et notamment à David W. King (1896) évoquant les maisons rurales du Nebraska, puisque l'on retrouve une description de la manière de décaper les mottes de gazon reprise à l'identique. Ce sont ces habitations du Nebraska dont plusieurs exemples ont été photographiées par Solomon D. Butcher entre 1886 et 1892, qui pourraient servir de référence à l'auteur. Lewis reconnaît toutefois que ces exemples de maisons construites après 1870 sont peu directement utiles pour décrire la tradition de construction en *sod* d'origine européenne qui a atteint l'Australie près d'un siècle et demi plus tôt. Miles Lewis s'appuie donc sur d'autres traditions européennes, fondant son hypothèse d'un possible emploi de cette technique de construction sur le transfert d'une culture constructive largement utilisée dans les îles britanniques, en Irlande, au Pays de Galles, en Ecosse qui ont fourni une grande part des immigrants de première vague au début du XVIII^e s. Il évoque notamment la tradition des toitures en gazon qui furent recouvertes de chaume et rappelle le vocable « *scraws* » utilisé en Angleterre et en Irlande désignant ces *sods* de toiture. Cette méthode était aussi dénommée « *stob thatch* », en Ecosse. Il décrit même un certain degré de sophistication de la technique de couverture en mottes de gazon maintenues entre elles par un brochage (ou « *scoubs* ») en bois. Un exemple d'application de ce principe de couverture en mottes a été repéré par un certain Neil Kenworthy, à Parwan, près de Bacchus Marsh, sur une charpente de caractère primitif à troncs fourchus servant de colonnes. La toiture présente une faible inclinaison. Lewis émet l'hypothèse que les migrants tasmaniens aient pu être plus familier de ces techniques de construction. Ainsi, « *des huttes en « sod » ont été bâties à « Hobart Town » après que Collins (Lt. gouverneur du lieu) eût abandonné l'établissement de Sorrento* ». « *A « Dennistoun », sur la Clyde, le Capitaine Woods a construit des huttes en « turf » à planchers de bois et toitures en chaume, en 1822, qui ont été occupées par la famille Reid pendant un temps alors que Alexander Reid construisit une autre habitation en turf à « Ratho » qui fut leur demeure pour 3 ans* ». De même, « *près de la ville actuelle de « Ross » W.T. Parramore construisit une hutte ronde en « turf » en 1823 et à la même époque, à « Macquarie Plains » il semble que John Powell ait pu construire une hutte en sod. L'usage du « turf » était aussi recommandé en 1837 pour les émigrants partant s'installer en « South Australia » et la plupart des habitats de la première période d'établissement, aux alentours d'Adelaïde, ont été bâties en « turf », terre et en joncs* ». D'autres exemples sont donnés pour la Nouvelle Zélande, la région de Port Philip ainsi que pour Melbourne. Ces derniers retiennent particulièrement notre intérêt. « *Les deux premiers bâtiments de Melbourne ont été les magasins en sod et la hutte bâtis par Evan Evans et autres et Lonsdale montra que non seulement George Evans mais aussi J. et W. Jackson, George Stewart, W.G. Sams et Charles Wedge ont occupé des bâtiments de ce type. De même, en décembre 1836, le Sydney Gazette note que deux des trois bâtiments publics de Melbourne étaient en sods et, en 1837, Michael Pender possédait un café en sod à Flinders Lane. Un autre bâtiment en sod repéré par Lonsdale était celui qui fut construit par Henry Batman à l'angle des rues King et Collins qui devint l'une des premières prisons de Melbourne et qui paraît similaire avec le bureau de police observé par Foster Fyans en 1837* ». Dans une autre région où s'installèrent des immigrants d'origine irlandaise, un certain « *Rolf Boldrewood remarqua que des cubes noirs bien coupés plutôt plus gros que des briques, à leur état frais et humide, permettaient de bâtir un mur d'apparence soignée et solide* ». Il semble également que les *sods* ou *turves* aient été aussi très utilisés pour construire des foyers de cheminées tel que le rapportent beaucoup de témoignages. Miles Lewis constate néanmoins que même si les bâtiments en *sod* avaient la bonne réputation d'être plus confortables que ceux construits en pierre délitée (« *split slab* ») ceux-ci représentaient davantage l'idée de la « vraie ferme » que les premiers ; un constat de préjudice social vis-à-vis d'un mode de construction utilisé par des « paysans européens » et des « natifs » australiens.

III.3. - Le sod en Nouvelle Zélande

Miles Allen¹³ mentionne l'ensemble des techniques de construction en terre qui ont été utilisées par les immigrants européens s'installant sur les deux principales îles de Nouvelle Zélande, soit les mottes de gazon (« *turf* » ou « *sod* »), la bauge (« *cob* »), le torchis (« *wattle and daub* »), le hourdage en terre d'ossatures bois (« *mud and stud* », principe largement développé à l'époque Elisabéthaine/Tudor) et l'adobe. En effet, l'auteur confirme que ces modes de construction ne sont pas d'origine indigène, aucune évidence de leur emploi n'ayant été constatée pour les époques pré-européennes. Peu de ces édifices datés de la fin du XIX^e s., dont certains ont été remarquablement construits, survivent alors que les habitats plus précaires ont largement disparu ou ont été recyclés en granges et abris de stockage agricole.

¹² Lewis 1977, in « Victorian Primitive », pp. 9-12 .

¹³ Allen années 1990 (non précis), in « Earth Building in New Zealand » .

Dans la région de « Central Otago », beaucoup de petits édifices ruinés correspondent à des petits habitats sommaires de chercheurs et mineurs d'or qui pratiquaient une forme de nomadisme sur le territoire au gré de leurs recherches des filons. Puis, lorsque le pays a connu son époque de développement, la construction en terre, associée à la pauvreté, a rapidement disparu. Parlant assez sommairement de la technique des mottes de gazon, dénommée « *sods* » ou « *turves* » (pluriel de « *sod* » et « *turf* ») qui semble avoir été associée aux toutes premières époques d'immigration européenne, Miles Allen écrit que les mottes étaient découpées après avoir coupé l'herbe (« *tussock* ») assez rase. Il précise que pour dresser les murs, ces mottes étaient posées à l'envers, soit la couverture herbeuse en bas. Cette remarque est intéressante car ce n'est pas toujours le cas avéré pour d'autres régions du monde. Le principe de renversement, selon l'auteur, permet un meilleur ancrage des couches de mottes entre elles. Parfois, du sel était interposé entre chaque couche afin de réduire le pourrissement de la partie herbeuse des mottes.

IV – Actualité de l'utilisation des blocs de terre et mottes de gazon découpés

Dans ce dernier chapitre, nous souhaitons évoquer deux variantes de la technique de construction en blocs de terre découpés. D'une part, la tradition des « *tepetate* » ou « *caliche* » d'Amérique centrale et latine (Mexique, Nicaragua, Salvador, Honduras, Colombie), que l'on peut rapprocher de la tradition des blocs de terre latéritique, toujours actuelle en Inde et dans plusieurs pays d'Afrique (Burkina Faso, Lybie). D'autre part, un renouveau de la construction en mottes de gazon que l'on évoquera à travers des expérimentations de caractère muséal qui ont été réalisées en Ecosse dans les années 1980, et des réalisations architecturales contemporaines tout à fait étonnantes, en Uruguay.

IV.1. – Les blocs de terre découpés

Les « *tepetate* » et « *caliche* » d'Amérique latine

D'autres sols des régions tropicales¹⁴, notamment en Amérique latine et centrale présentent des caractéristiques d'induration similaires aux latérites. Ce sont des matériaux superficiels formés sur des dépôts volcano-sédimentaires, sortes d'encroûtements calcaires laminaires, connus sous plusieurs appellations : le « *tepetate* »¹⁵, au Mexique, le « *talpetate* » au Nicaragua, au Salvador et au Honduras, le « *fierrillo* » (andosol marqué par l'accumulation d'oxydes de fer), ou la « *cancagua* » au Chili, la « *cangahua* » au Pérou et en Equateur, le « *hardpan* » en Colombie. Plus au nord de ces régions tropicales américaines, sous climat plus semi-aride voire aride à faibles pluies saisonnières, d'autres sols de même nature volcano-sédimentaire (tufs volcaniques riches en carbonates de calcium), marqués par un processus de consolidation par carbonatation, offrent aussi des propriétés physiques et mécaniques les rendant utiles en construction, sous forme de blocs découpés. On les dénomme « *duripans* » (sud ouest des U.S.A) ou encore plus couramment « *caliche* » (nord-est et centre du Mexique - Zacatecas, San Luis Potosí). D'une manière générale, les processus de cimentation naturelle de ces sols volcano-sédimentaires tropicaux s'opèrent par la silice (les « *duripan* », p.e.) et/ou le calcaire sous forme de carbonate de calcium (pour les « *tepetates* » pétrocalciques, p.e.) voire même par le sulfate de calcium (pour les « *tepetates* » pétrogypsiques) mais la recherche actuelle se questionne encore sur la nature géologique (volcanogénèse) ou pédologique de ce processus (Fig. 6 et Fig. 7).

Fig. 6 et Fig. 7 : Carrière d'extraction de blocs de « *tepetate* » et vente de blocs minces pour parements de façades. Mexique.



¹⁴ Quantin 1992, in « L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique latine : processus géologique et pédologique » .

¹⁵ Guerrero 1992, in « Distribución de los tepetates de la Republica Mexicana, escala 1 : 4,000,000 » .

L'utilisation des latérites en construction dans les régions tropicales : Afrique et Inde

Les sols latéritiques ont fourni depuis longtemps l'un des principaux matériaux de construction des régions tropicales¹⁶. Leur quantité relativement abondante en couche épaisse dans l'horizon de surface des sols de ces régions rend l'accès aux matériaux pierreux plus difficile. Une fois extraits, ces sols effectuent un processus de durcissement à l'air par induration leur donnant de bonnes propriétés physiques et mécaniques. Ils sont ainsi abondamment exploités, autant pour réaliser des travaux publics que pour produire des briques destinées à la construction d'habitat. On connaît aussi de remarquables exemples de bâtiments historiques, comme les temples khmers d'Angkor-vat (X^e – XII^e s.), au Cambodge et beaucoup d'autres temples bouddhistes de ces régions qui ont assez remarquablement résisté aux érosions du climat tropical. Mais ces latérites, générées sous des conditions géologiques et pédologiques variables sont de qualité très versatile, présentant des propriétés différentes. L'intérêt pour l'emploi de ce matériau abondamment disponible a logiquement justifié une importante activité de recherche scientifique afin de mieux définir leur comportement, leurs capacités et performances constructives et surtout pour établir une classification de ces sols latéritiques. De même, l'industrie du bâtiment a été conduite à s'intéresser à ces matériaux car dans beaucoup de situations ils offrent une alternative à la pénurie de matériaux industrialisés, coûteux et peu accessibles. Cela est particulièrement vrai en Afrique (Côte d'Ivoire, Ghana, Liberia, Sénégal, Sierra Leone, Togo, Tanzanie), en Asie (Inde, Thaïlande, Philippines) et même en Amérique latine (Guatemala, Brésil, Venezuela, Pérou, Colombie) où ce matériau de construction traditionnel a fait l'objet de recherches industrielles. Un rôle important dans cette direction a été joué par le « Building and Road Research Institute » (B.R.R.I.), à Kumasi (Ghana) qui a produit des publications de référence dans ce domaine de recherche¹⁷. D'autres recherches importantes ont été menées au début des années 1980, dans les universités allemandes, qui ont notamment fait avancer la question de la caractérisation géochimiques et mécanique des sols latéritiques dont la composition « type » consiste principalement en SiO₂, AlO₃, Fe₂O₃ et H₂O (silice, oxyde d'aluminium, oxyde de fer et eau) ainsi qu'en minéraux de quartz, kaolinite, gibbsite, goethite et hématite.

Origine de la terminologie :

Le terme "latérite" a été introduit en 1807 par le géologue britannique F. Buchanan¹⁸ en référence à un certain type de matériau tropical désagrégé. Il inventa ce terme pour désigner ce type de matériau à la fois ferrugineux, ocreux, cellulaire, non stratifié et poreux qu'il observa à l'occasion de voyages effectués en Inde, principalement à Malabar (aujourd'hui état du Kerala). « A l'état frais, ce type de matériau se travaille et se découpe facilement en forme de blocs ou briques qui, après une courte période de séchage à l'air, durcit et fournit ainsi un matériau valable notamment pour la construction de maisons ». Mais, Buchanan a aussi nommé ces matériaux à la fois sous l'appellation de "latérite" et de "pierres à briques" en les désignant plus précisément comme des "matériaux de consistance molle offrant des capacités de durcissement".

Exemple de production et utilisation constructive des blocs de latérite : le Burkina Faso

Au Burkina Faso, dans la région de Bobo Dioulasso, les blocs de latérite (plinthite) sont couramment exploités en carrière à ciel ouvert et utilisés en construction¹⁹. Plusieurs carrières ont été visitées dans la région de Bobo Dioulasso, dont une à proximité de l'aéroport, une autre à Léguéma ainsi qu'une troisième située à Toussiana, à une cinquantaine de kilomètres de Bobo, en direction de Banfora. Sur ces trois carrières c'est cette dernière qui présentait la meilleure qualité de gisement et de taille des blocs. Les blocs de latérite sont découpés artisanalement à l'aide de pioches ou de houes. De ce fait, leur dimension sont variables, la longueur allant de 30 à 40 cm, la largeur et la hauteur voisinant 15 cm. Ce type de blocs est utilisé pour la maçonnerie des murs. Il existe aussi des blocs carrés de 30 x 30 x 15 cm (h) ou de 40 x 40 x 15 cm (h) qui sont utilisés pour les fondations et soubassements des ouvrages. La qualité des blocs, très variable, dépend à la fois de celle du gisement exploité - notamment de la compacité du sol - et de la qualité du travail effectué par le tailleur. L'extraction se fait par couches horizontales après avoir décapé le sol superficiel. Des entailles verticales orthogonales sont pratiquées, figurant la dimension des blocs, puis une amorce de taille horizontale permet de détacher le bloc dont les parements sont ensuite égalisés. Dans la plupart des cas, les tailleurs de blocs sont semi-professionnels, étant avant tout des cultivateurs réalisant ce travail en saison sèche alors qu'ils ne sont pas mobilisés par les travaux agricoles. Dans certaines carrières (Toussiana), il y a quelques tailleurs professionnels bien que le gros de la main d'œuvre soit d'origine rurale. Les rendements d'exploitation sont très tributaires du type de gisement exploité. Pour des carrières « tendres » ils peuvent aller jusqu'à une centaine de blocs par jour et par tailleur et pour les carrières « dures » ils sont plutôt de l'ordre de 30 à 50 blocs par jour. Les coûts d'exploitation en carrière ajoutés de ceux du

¹⁶ Stubendorff 1986, in «The mechanical properties of tropical-weathering products and their relationship to the mineralogical and chemical composition » .

¹⁷ Gidigas 1976, in « Laterite soil engineering. Pedogenesis and engineering principles ».

¹⁸ Buchanan 1807, in « A journey from Malabar through the countries of Mysore, Canara and Malabar ».

¹⁹ Rigassi (CRATERre-EAG) et Nève de Mervegnies 1994, in « Projet d'extension de l'entreprise Nikiema & Cie à Bobo Dioulasso, Burkina Faso » .

transport sont très supérieurs à ceux de la brique d'adobe moulée, soit de l'ordre de 4 à 5 fois plus élevés (Fig. 8 et Fig. 9).



Fig. 8 : Carrière de terre latéritique à la périphérie de Bobo Dioulasso, Burkina Faso. © Vincent Rigassi, CRATerre-EAG



Fig. 9 : Extraction manuelle de blocs de sol latéritique au Burkina Faso. © Vincent Rigassi, CRATerre-EAG

Il n'existe pas de procédé d'extraction mécanique spécifique pour l'exploitation des gisements de latérite mais des expérimentations exploitant les procédés d'extraction de la pierre à ciel ouvert ont été envisagés. Ainsi, au Burkina Faso, un procédé de mécanisation partielle a été testé entre 1978-79 par le Bureau d'Aménagement et de Constructions Rurales de Bobo Dioulasso. Il s'agissait d'un châssis sur roulettes muni d'une scie verticale permettant les découpes dans le sens de la longueur et de la largeur avant que les blocs soient décollés manuellement. La scie était à lame de diamant, procédé adapté pour les pierres tendres qui demande généralement une utilisation abondante d'eau. Ces expérimentations n'ont pas été poursuivies car elles n'ont pas présenté un bilan d'exploitation satisfaisant.

Néanmoins, d'autres procédés de taille mécanisée de la pierre pourraient être adaptés. On pense à ceux utilisés pour les pierres tendres (tuf, calcaires, etc.). Ce sont d'une part des engins se déplaçant sur des rails guides munis d'une scie verticale et d'une scie horizontale mais leur coût d'acquisition est relativement élevé (prix usine de 800 000 francs, valeur 1994). D'autre part, des procédés permettant de débiter des gros blocs d'environ 1 x 2 mètres qui sont ensuite débités en blocs de plus petite taille en atelier. Ces machines dénommées « haveuses » qui se déplacent aussi sur des guides travaillent en mode soit vertical soit horizontal et sont équipées de chaînes à pastilles de carbure de tungstène (plaquettes widja) permettant une découpe à sec. Les blocs découpés sont ensuite déplacés au moyen de chariots jusqu'à un châssis guillotine muni de tables fixes et/ou tournantes permettant un débitage en plus petits blocs. Mais l'investissement est aussi onéreux, de l'ordre de 1 million de francs (valeur 1994).



Fig. 10 : Séminaire construit en blocs de latérite découpés, Burkina Faso. © Vincent Rigassi, CRATerre-EAG



Fig. 11 : Habitation en blocs de latérite découpés, Wusasa Zaria, Nord du Nigéria. © HubertGuillaud, CRATerre-EAG

Les blocs de latérite sont utilisés en maçonnerie, appareillés soit en boutisse (petit parement apparent), soit en panneresse (long parement apparent). Ils sont bâtis à l'aide d'un mortier de terre argileuse et souvent rejointoyés au mortier de sable-ciment. Les plus anciennes constructions ont été bâties au mortier de sable-chaux. La typologie des ouvrages construits est assez large avec des murs de clôture, des maisons, des bâtiments de caractère public ou religieux pouvant présenter plusieurs niveaux (Fig. 10 et Fig. 11). La qualité de plusieurs réalisations architecturales anciennes est évidente et confirme de nombreux avantages offerts au plan constructif et architectural. Le système constructif

utilise les blocs en maçonnerie porteuse ou en remplissage d'ossature béton pour les constructions les plus récentes. Peu de données techniques existent sur ce matériau dont les caractéristiques mécaniques sont mal évaluées mais l'on estime que la résistance en compression sèche est de l'ordre de 40 à 80 Mpa avec une résistance humide située entre 30 et 60 Mpa. Au vu des échantillons récoltés, la masse volumique du matériau est comprise entre 1700 et 2000 kg/m³ alors que la littérature technique donne des valeurs bien supérieures, la situant entre 2200 à 2500 kg/m³. Au plan des caractéristiques thermiques, notamment pour l'inertie, elles peuvent être apparentées à celles de la brique cuite ou du bloc de terre comprimé. A l'observation, la résistance à l'érosion semble bonne hormis pour des parties marquées par des inclusions tubulaires, présentant une érosion plus marquée mais sans pour autant altérer la résistance globale des blocs et des maçonneries.

Autre exemple de production et utilisation des blocs de latérite en Inde, région de Goa

Utilisée depuis fort longtemps, bien avant l'époque de la colonisation portugaise, la latérite demeure aujourd'hui le matériau de construction le plus populaire de la région de Goa ²⁰ (sud-ouest de l'Inde, sur les rivages de la Mer d'Arabie). Elle y est en effet très abondante et encore relativement bon marché. Ce ne sont pas moins des deux tiers du territoire de cet état de Goa qui sont couverts par des sols latéritiques dont l'épaisseur des couches varie de 2 à 25 mètres d'épaisseur. Ces sols sont relativement jeunes et superficiels donc directement accessibles et exploitables. Le fort développement de l'activité touristique et industrielle dans la région a favorisé un développement considérable de la construction et les carrières de latérite ont été mises à contribution. Traditionnellement, la latérite a permis l'édification d'ouvrages couvrant une large typologie : des habitations populaires, des églises et temples, ouvrages militaires, palais et même des ouvrages publics tels que des ponts. Les blocs de latérite de bonne résistance (35 à 50 kg/cm²) sont utilisés pour les fondations et les soubassements, pour la réalisation de murs de soutènement et de clôture et pour des fortifications, des pavements ainsi que pour des systèmes de franchissement en arcs ou des couvertures en voûtes et coupes. Ils conviennent aussi pour la réalisation de contreforts et autres types de structures porteuses tels que colonnes et piliers. Les blocs moins résistants (20 à 35 kg/cm²) sont généralement employés pour la réalisation de parements de façades et pour la construction de maçonneries en remplissage d'ossatures.

L'exploitation des carrières de blocs de latérite à Goa est le plus souvent manuelle au moyen de pics et pioches, houes et bêches. En mode semi-mécanisé, les exploitants utilisent des engins roulants munis d'une disquieuse parfois complétée d'une mèche de tungstène travaillant dans le plan horizontal. Les carrières les mieux équipées disposent aussi d'engins à godets d'origine agricole permettant un décapage. Les opérations de production suivent une séquence d'opérations classique : un décapage manuel ou mécanique de la surface du sol suivi d'un traçage de dimensionnement des blocs effectué à l'aide de clous et cordeaux, puis un découpage horizontal de la couche à extraire, manuel ou mécanisé, complété d'un levage des blocs, généralement manuel. Les déchets de matériau non utilisable sont ensuite évacués à l'extérieur immédiat de la carrière. L'un des principaux problèmes est le contrôle de ce gaspillage de matériau, notamment lorsque l'on définit l'épaisseur du plan de clivage de la couche à extraire. Dans la région de Goa les exploitants préfèrent d'abord dimensionner la taille des blocs par traçage et approcher l'épaisseur du plan de clivage avant d'engager l'extraction. Cette pratique résulte en une moyenne de 10 à 15 % de perte de matériau en mode semi-mécanisé et jusqu'à 25 % en mode manuel. Mais dans l'ensemble, l'attention portée à ce problème de gaspillage reste souvent secondaire. Ces modes d'extraction permettent l'extraction de blocs de forme dégrossie.

Les carrières manuelles adoptent le principe de l'extraction par couches horizontales successives et sur une épaisseur maximale de 5 mètres. Les équipes rassemblent jusqu'à une trentaine d'ouvriers. Les carrières semi-mécanisées peuvent exploiter le matériau sur une plus grosse épaisseur, jusqu'à 7 à 8 mètres. Les équipes rassemblent entre 12 à 15 ouvriers. Ces ouvriers viennent généralement des régions rurales et constituent une main d'œuvre exploitée à très bon marché. Fonctionnant le plus souvent en paire, leur salaire est de l'ordre de 110 Roupies par jour soit 2,5 USD. Le marché des carrières de Goa s'étend aux villes voisines, Panaji, Mapusa, Margao et Vasco qui sont des centres économiques florissant et grands consommateurs du matériau pour leurs chantiers de construction. Le coût des blocs de taille semi-mécanisée est supérieur à celui des blocs extraits manuellement qui exigent un travail complémentaire de réglage de leurs parements.

²⁰ BASIN 2001 (2 Monographies).

IV.2. – Actualité de la construction en mottes de gazon

Les tentatives de réactualisation de la construction en mottes de gazon, soit pour restituer une culture constructive d'intérêt historique et un modèle d'application architecturale particulier, dans un contexte régional et culturel donné, soit pour de nouvelles applications architecturales contemporaines, ne sont pas nombreuses. Nous en avons repéré qui méritent attention. Il s'agit d'une part d'expérimentations de reconstruction associées aux activités d'un Musée folklorique, en Ecosse (Grande-Bretagne) datées de la fin des années 1970 et du début des années 80, et d'autre part de réalisations d'habitations privées, en Uruguay, région de Montevideo, datées de la fin des années 1990 et actuelles.

IV.2.1. - L'expérience du Musée de Kingussie, Ecosse, Centre des Highlands

Le Musée folklorique de Kingussie, situé dans la région centre des Highlands, en Ecosse, s'est intéressé au mode de construction en *turf* et a tenté plusieurs expérimentations depuis 1978 ²¹. Ce fut tout d'abord la réalisation d'une sorte de petit mur-bahut de soutènement de 1,20 m de haut, monté à fruit en parement extérieur et droit en parement intérieur. Ross Noble relève que le mode d'empilement des mottes a été inspiré d'un principe de chapeau de murs de pierres sèches existant dans les Highlands qui consiste à poser les « *turves* » d'une façon bien spécifique, soit « *earth to earth and then grass to grass* » (les faces herbeuses en contact entre elles ainsi que les faces terreuses, alternativement, tous les 2 lits de pose des mottes). Cette première expérimentation permettait aussi, entre autres essais, d'utiliser des outils traditionnels de découpe des mottes de gazon, comme les « *flaughter spades* » également connus sous le nom de « *breast ploughs* ». Il s'agit d'un outil à long manche et à lame plate - soit en forme de couteau semi circulaire, ou encore en demi-lune, voire de forme triangulaire - comme le référencent Bruce Walker et Christopher McGregor ²² dans leur publication du *Historic Scotland* (1996). Mais il semblerait que l'emploi de ces outils anciens n'ait pas été aussi facile – sans doute par manque de savoir-faire et peut-être de force manuelle adaptée – et c'est finalement la bêche de jardin qui a été utilisée. L'expérience s'est avérée concluante quant à la stabilité et à la solidité du mur dressé lors de cette première expérimentation.

En 1981, exploitant la même méthode de construction, et la même qualité de mottes de gazon, un second mur a été dressé mais cette fois ci sans fruit extérieur. Bien qu'il fut construit au début du printemps correspondant à la repousse de l'herbe dont les racines jouent un rôle dans la liaison des mottes entre-elles, ce second mur n'a jamais été bien stable comme d'ailleurs un troisième construit en 1983 qui pouvait être poussé et basculé sans effort. D'autres expériences ont été par suite associées à la réfection d'une couverture en gazon, utilisant des « *divots* » (vocalbe spécifique aux mottes de gazon utilisées en couverture, généralement plus minces que celles dressées en murs) mais là encore, comme en 1978, l'utilisation des « *flaughter spades* » pour découper les mottes s'est avérée peu concluante et surtout peu économique.



Fig. 12 : Bâtiment expérimental construit en « turf », Musée de Kingussie, Highlands, Ecosse, 1982-83. Etape intermédiaire. © Ross Noble et Musée de Kingussie.



Fig. 13 : Bâtiment expérimental construit en « turf », Musée de Kingussie, Highlands, Ecosse, 1982-83. Etape finale : couverture en « divots ». © Ross Noble et Musée de Kingussie.

Ces expérimentations ont pris une tournure plus importante dès lors que le musée a fait l'acquisition d'une ancienne charpente de type « *cruck* » inclinant l'équipe du musée à envisager la reconstruction d'un modèle traditionnel de « *cruck-framed turf houses* » (Fig. 12 et Fig. 13). Ce projet a pris place dans le cadre d'actions de création d'emplois temporaires pour les adultes au chômage de longue durée menée par la « *Manpower Services Commission* ». Le projet permettait de fournir du travail pour 4 personnes à plein temps sur un an avec l'idée de leur faire acquérir une base de

²¹ Noble 1983-84 et Fenton et Walker 1981, in « *Turf-Walled Houses of the Central Highlands. An Experiment in Reconstruction* ».

²² Walker et McGregor 1996 : op. cit., p. 97.

savoir-faire en maçonnerie traditionnelle et en charpente. Il s'agissait de construire une maison en *turf* réutilisant la charpente en *cruck* acquise par le Musée. Un autre défi consistait à n'utiliser que des outils traditionnels des Highlands, datant du XVIII^e s. : herminettes, hachettes, scie de long, queues-de-cochon et bûches. Tous les bois nécessaires à la réalisation des autres fermes de charpente (outre l'ancienne ferme en *cruck* acquise) ont été débités dans l'environnement, taillés et assemblés sur place, à l'ancienne et ce travail s'est avéré relativement facile à exécuter. Leur mise en place n'a également pas posé de grande difficulté. Puis est venu le temps de construire les murs en *turves*. Il fallut donc couper les mottes et ce travail s'est avéré long et fastidieux bien que la taille du bâtiment n'était pas très grande. Les *turves* pour le mur ont été extraits sur une surface d'environ une acre (soit un demi-hectare) et les *divots* de toiture sur environ 150 m². Ross Noble évoque non sans surprise une forte résistance des propriétaires terriens locaux et des dépôts de plainte auprès du parlement car ils considéraient que l'extraction des *turves* et *divots*, dans le cas de la construction d'une vingtaine de maisons aurait dévasté une grande surface de pâture environnante.

L'épaisseur des murs dressés en *turves* fut de 90 cm en leur base, avec un fruit extérieur très prononcé, et une épaisseur d'environ 45 cm au sommet, soit la largeur des mottes. A l'intérieur, les murs présentaient un parement vertical. La construction s'est faite comme on aurait employé des briques, soit à joints alternés et en adoptant le principe de pose en « *earth to earth* » et « *grass to grass* », de façon à favoriser une bonne liaison mécanique des mottes entre elles par la pousse prolongée des racines. La stabilité de ces murs de « gazon » s'est avérée très bonne alors qu'une hauteur de 1,80 m était atteinte à l'approche de l'hiver. Les travaux de construction des murs jusqu'à hauteur des sablières de charpente ont continué, malgré la froidure de la saison les rendant plus difficiles mais pas impossibles, notamment pour la découpe des mottes. Puis est venu le temps de réaliser la couverture en *divots*. Après des ajustements nécessaires de niveaux entre les murs et la base de la couverture, les *divots* ont été posés comme de grosses tuiles, en partant de la base et à recouvrement. Néanmoins, comme la quantité de matériau était relativement importante, ceux qui furent découpés dans l'environnement ont été complétés par des carrés de gazon vendus par des horticulteurs produisant pour la réalisation de terrains de golf. Ces matériaux se sont avérés bons pour cet usage en construction. Le chantier expérimental a été mené à bonne fin en évitant la complication des ouvertures (à l'exception d'une baie permettant d'entrer) et sans peaufiner les détails de construction.

Enseignements de l'expérimentation

Les expérimentations du Musée de Kingussie ont été riches d'enseignements consignés dans le rapport rédigé par Ross Noble. Ce sont principalement des conclusions de nature technique. La construction des murs gouttereaux courts a été plus problématique que celle des murs gouttereaux longs qui se présentent davantage comme des murs de remplissage entre les fermes *crucks* de la charpente dont la capacité de portance ne s'est pas posée. La stabilité des murs courts est plus difficile à garantir et il semblerait que des solutions de renforcement, au-delà du seul fruit extérieur, puissent mieux la garantir (contreforts intérieurs ?). Ou bien une conception adaptée des fermes de charpente pour ces extrémités du bâtiment, en introduisant le principe des « *hip-crucks* », c'est à dire avec des arêtiers de croupe. Mais Noble note que ce principe n'est pas courant dans la région centre des Highlands bien qu'il ait pu être identifié en d'autres régions d'Ecosse. Il convient aussi de tenir compte, dans la relation structurelle et mécanique entre murs de *turves* et charpente, du risque de tassement et de glissement des mottes de gazon qui peuvent contribuer à un délogement de pièces de charpentes comme les chevrons, en partie haute des murs. L'été qui a suivi la fin du chantier, un problème de fléchissement prononcé des croupes de couverture a été observé, suivi de leur effondrement presque simultané (quelques jours d'écart) entraînant les murs d'extrémité, dans un délai de 15 mois, à l'été 1983. Les murs gouttereaux courts ont également montré des faiblesses avec apparition d'un ventre intérieur qui semble avoir suivi un glissement des mottes. Les angles des murs n'ont par contre pas souffert. Cette évolution semble confirmer la nécessité de mettre en place une charpente à arbalétriers corniers et centraux (dans les axes du gouttereau court). Ross Noble pose la question de l'influence du gel sur ces déformations, le chantier ayant continué à l'hiver 1981-82 alors que les premières assises de mottes étaient élevées à une profondeur de 90 cm au-dessous du terrain naturel. Deux hypothèses sont avancées : le gel empêche toute possibilité de continuation de la croissance des racines dans les mottes et donc contribue à réduire les liaisons mécaniques entre elles ; ou bien, le gel pétrifie les mottes et empêche leur tassement naturel en cours de construction, celui-ci s'opérant brutalement en période de dégel et générant des faiblesses structurales. De fait, le glissement des mottes a été observé au mois de mai 1982. L'influence des variations climatiques hivernales extrêmes semble être un facteur très important à considérer pour ces constructions en matériaux organiques. De même pour l'influence des chaleurs estivales qui favorisent un séchage des mottes et de leur couverture herbeuse ainsi qu'une évolution pulvérulente du matériau les rendant plus exposées, moins étanches lors de la saison pluvieuse et hivernale suivante. Cela contribue certainement à une fragilité de la couverture. Cela a-t-il été accentué par le fait de l'utilisation de mottes découpées mécaniquement par les producteurs de prairie de golf, plus minces que celles

découpées manuellement ? Ross Noble pense également que le degré de pente de la toiture était plus adapté pour une couverture en chaume qu'en *turf*. La question d'un débord de toiture est également posée de manière à bien repousser l'eau au-delà des murs.

Quoiqu'il en soit, au-delà des enseignements techniques, l'expérience a été profitable à d'autres niveaux. Le bâtiment a été beaucoup visité autant par des étudiants et des chercheurs évoluant dans des champs disciplinaires variés, que par le public. L'opération a présenté un caractère promotionnel pour le Musée de Kingussie, pendant le chantier et après. Ross Noble conclue *in fine* que ces expérimentations peuvent d'inscrire dans un projet à long terme qui permettra d'améliorer l'édifice dans plusieurs directions : la réalisation d'une sur-couverture en chaume, de cloisons intérieures en vannerie d'osier et en torchis, telles qu'elles ont été décrites par des chercheurs, ou encore des formes de stabilisation du matériau terre au moyen d'adjuvants naturels, tels que paille et excréments de bovins. De même, pour les murs, est évoqué le principe du dressage préalable d'une ossature en bois et du dressage de panneaux en vannerie d'osier vraisemblablement mieux adaptés à un principe d'utilisation des mottes de gazon en remplissage et en appui, de façon à contenir le risque de glissement (cf. système repéré sur le site de Hound Tor, Devon, X^os.).

Ces expérimentations ont été réalisées dans un cadre muséal il y a déjà presque 20 ans et nous ne disposons d'aucune information sur la continuation de ces actions depuis lors. Elles montrent aussi que la restitution d'une culture constructive disparue, même relativement bien documentée au plan de la recherche historique, exige aussi la reconquête d'un savoir-faire pratique dont la transmission par le geste a été interrompue. Quelle méthode est alors la mieux adaptée pour cette ré-appropriation du geste qualifié ? Sans doute en partie celle des « essais et des erreurs ».

IV.2.2. - Le renouveau de la construction en « terrón », en Uruguay ²³

Brefs repères

En superficie, l'Uruguay est l'un des plus petits pays d'Amérique latine, présentant une forme caractéristique de « poire » comme se plaisent à le dire en souriant ses habitants. Bénéficiant d'une façade territoriale tournée vers l'Océan Atlantique, le pays est entouré par deux des nations géantes du sous-continent américain, l'Argentine et le Brésil. Sa frontière occidentale, partagée avec l'Argentine, est tracée par le cours du fleuve Uruguay qui termine son parcours en abondant de ses limons rouges les eaux salées du fameux Rio de la Plata. Ce vaste estuaire protégé a été favorable à l'implantation de ports, dès l'époque de colonisation ibérique, avec Colonia de Sacramento, puis Buenos Aires et Montevideo sur les rivages d'Argentine et d'Uruguay se reflétant dans ses eaux. La colonisation portugaise puis espagnole, suivie de vagues d'immigration successives d'origine européenne a profondément marqué l'histoire récente de ce territoire dont la population traduit un large métissage culturel restitué par une patronymie et une toponymie très variées. Cette diversité des apports se lit aussi dans le patrimoine bâti du pays qui offre à lire clairement les phases successives de développement de son urbanité dans l'architecture de Montevideo et de ses principales villes moyennes. Si l'influence des premières époques coloniales ibériques n'est pas aussi repérable que dans d'autres pays d'Amérique latine, les influences des cultures constructives et architecturales, des styles (néoclassicisme, art nouveau et art déco, p.e.), du XIX^e s. et de la première moitié du XX^e s. sont évidentes. Mais aussi l'empreinte des maçons puis entrepreneurs d'origine italienne - leur culture constructive en briques cuites - qui ont façonné les traits de la ville uruguayenne moderne. Hors la ville, dans la *pampa*, tout est nature, campagne, agriculture et élevage (« *ganaderias* »), grande tradition économique partagée avec l'Argentine, véritable culture rurale identitaire.

La culture constructive du « rancho »

La tradition uruguayenne du « rancho » ²⁴ n'est pas celle d'une architecture de *ganaderias* ou d'*haciendas* modernes (XIX^es.) traduisant un développement déjà avancé des activités agricoles et l'enrichissement de quelques grandes familles d'origine coloniale. Le *rancho* (Fig. 14 et Fig. 15) correspond plutôt à d'humbles et petites borderies ou métairies et n'est guère plus qu'une cabane améliorée. Il ne s'agit donc pas d'un habitat dont la nature aurait été

²³ Ce chapitre résulte d'une enquête de l'auteur effectuée à l'occasion d'une mission d'enseignement en Uruguay, en novembre 2000. Les informations recueillies ont été largement complétées au cours de cette année 2001 par une documentation photographique, graphique aimablement mise à disposition par l'architecte Cecilia ALDERTON (Montevideo, Canelones, Uruguay) et par des échanges de courriers électroniques ayant fourni des précisions techniques.

²⁴ Chabataroff années 1990 (non précis) : in « El rancho, alternativa habitacional ecológica ».

empruntée à quelques populations natives indiennes pré-coloniales que les uruguayens ne connaissent pas. Ainsi, ce qualificatif employé par les uruguayens mêmes peut porter à confusion. Le *rancho* serait plutôt une adaptation de l'habitation rurale ibérique qui n'aurait pas subi beaucoup de modifications depuis l'époque coloniale jusqu'à nos jours. Par tradition et aussi par nécessité économique, le *rancho* est édifié avec les ressources locales d'origine végétale et minérale utilisées selon un éventail de techniques de construction. Les voici brièvement présentées :

Les techniques de construction végétales : on en connaît principalement trois qui sont : la « *ramada* » ou « *enramada* », le « *toldado* » et la « *quincha* ».

- La « *ramada* » ou « *enramada* » : on pourrait traduire ces termes en français par tressage ou entrelacs de branches. C'est sans doute le procédé de construction le plus rudimentaire pour dresser des cloisons à partir d'une structure primaire de grosses branches fichées dans le sol qui reçoivent des petites branches entrelacées de façon très serrée.

- Le « *toldado* » est aussi une armature de bois mais couverte de peaux. La langue de la *pampa* désigne aussi ce système sous le nom de « *ruca* » qui correspond davantage à un abri des champs, provisoire, des premières époques de colonisation d'origine ibérique.

- La « *quincha* » ou « *quencha* » est un vocable d'origine quechua (régions andines du Pérou, de la Bolivie) qui correspond aussi à une paroi de branches. Mais le vocable semble aussi dériver du terme « *junco* » ou « *quincho* » qui désigne le jonc ou le matériau végétal utilisé pour faire les couvertures de chaume. D'où le verbe « *quinchar* » pour désigner cet ouvrage et le vocable « *quinchador* » pour l'artisan spécialiste de ce travail.



Fig. 14 : Rancho rural en « *terrones* », Uruguay, début du XX^{ème} siècle. © Archives de la Bibliothèque Nationale d'Uruguay à Montevideo. Document reçu de Cecilia Alderton, architecte.



Fig. 15 : Rancho rural en « *terrones* », Uruguay. Peinture de Juan Manuel Blanes, peintre uruguayen, 1870. Document reçu de Cecilia Alderton, architecte.

Les techniques de construction à base de terre : On en connaît principalement six qui sont : la « *tapia* », le « *estanteo* », la « *fajina* », le *palo a pique* », le « *terron* » et l'« *adobe* ».

- La *tapia* (pisé), et l'*adobe* (brique crue moulée), sont finalement assez peu utilisés dans la tradition constructive des *ranchos*. On les trouve plus sur une architecture de caractère colonial urbain de la première période d'occupation ibérique, portugaise puis espagnole, soit par exemple à Colonia de Sacramento ou dans les villes les plus anciennes. Mais rapidement, la brique cuite aura remplacé ces matériaux en terre crue originels.

- Le « *estanteo* », comme la « *tapia* », demande l'emploi d'un système de coffrage mais restant en place. Il s'agit de dresser des poteaux de grosse section, espacés de 1 à 2 mètres (au maximum) et dont la hauteur correspond à leur jonction avec un bois rond horizontal faisant office de panne sablière de toiture. Ces gros poteaux reçoivent de part et d'autre des planchettes, voire de simples dosses équarries à l'herminette (écorce et liber des arbres), espacées entre elles de 10 à 20 cm. Ces éléments sont ligaturés avec des lacets de cuir ou des cordelettes de jonc tressés, et plus récemment avec du fil de fer, ou cloués. Entre ce coffrage sommaire et aéré, on effectue un bourrage de paquets de terre mêlée de paille et de « *yuyos* » (herbe de pampa) amendé en « *estiercol* » (fumier) qui agit comme un agglutinant à la fois stabilisant et durcissant (rôle connu de l'ammoniaque des urines animales). Ces paquets de terre sont dénommés « *chorizos* » du fait de leur forme généralement allongée comme de gros boudins. Une fois le remplissage en *chorizos* effectué, la finition se fait à l'enduit de terre argileuse également stabilisée à l'*estiercol* qui recouvre toute la paroi, y compris la structure en bois. Dans le meilleur des cas une couche finale de badigeon de chaux achève et embellit cet enduit de terre.

- La « *fajina* » est encore une variante de cloison en branchages ou en bambous, mais à recouvrement très dense dans les deux directions verticales et horizontales, recevant de la terre argileuse ou terre mêlée de paille hachée. On la comparera à notre torchis européen.
- Le « *palo a pique* » est en fait une terminologie d'origine portugaise encore utilisée au Brésil sous une forme sémantique très proche, « *pau à pique* », ou différente mais désignant la même technique, la « *taipa de sopapo* ». On connaît aussi d'autres termes portugais comme la « *taipa de fasquio* » ou encore la « *taipa de rodizio* » et des formes dérivées en langue espagnole comme « *tabique* » qui désigne la cloison. Il s'agit aussi d'une paroi végétale de branchages recouverts de terre mais ici, les bois qui sont fichés dans le sol sont aussi dressés de façon jointive. Ces bois sont reliés entre eux par une cordelette de cuir ou de jonc tressé et plus récemment par du fil de fer. Les uruguayens associent cette variante de cloison en bois et terre au « *tablestacado francés* » ou galandage français. Dans la pampa, ce procédé est en principe utilisé pour dresser des barrières de corral ou des protections contre l'intrusion des animaux.
- Le « *terrón* » correspond à la motte de gazon découpée à même les prairies, comme on l'a précédemment décrit.

La construction du « rancho »

La structure des *ranchos* est souvent élémentaire et, de ce fait, pour ne pas compromettre leur stabilité, ces petites « cabanes-maisons » disposent de peu d'ouvertures. L'ambiance intérieure est donc très obscure. La porte sert généralement de fenêtre avec un vantail bas pouvant être maintenu clos alors qu'un vantail haut peut être maintenu ouvert. Le principe assure une double fonction, le blocage du passage des animaux de basse-cour et l'éclaircissement-aération.

Le plan courant d'un *rancho* est simple, de type rectangle. Une fois dressées, les parois extérieures sont protégées par une toiture végétale à deux eaux. La structure est constituée de poteaux de forte section, les « *horcones* » ou « *orcones* ». Les premiers poteaux dressés sont les poteaux corniers ou « *orcones esquinero* », puis les poteaux médians ou « *orcones del medio* » sur lesquels seront fixées les soles hautes ou « *costaneros* » jouant aussi le rôle de sablière basse en « murs » gouttereaux longs. En « mur » pignon, le poteau médian monte jusqu'à hauteur d'une panne faîtière ou « *cumbrera* ». Celle-ci et les *costaneros* reçoivent ensuite les chevrons, ou « *tijeras* », qui eux-mêmes supportent les liteaux, ou « *alfajias* », puis *in fine*, le chaume, ou « *quinchado* ». Généralement, la *cumbrera* et les *tijeras* font saillie au-delà du plan des parois extérieures pour constituer un débord de toiture. On a même parfois observé des *tijeras* prolongés jusqu'au sol pour jouer le rôle de jambes de force et améliorer ainsi la stabilité de la structure en assurant une partie du contreventement latéral. Cette disposition offre aussi une augmentation de la surface habitable ou de stockage qui peut être couverte comme un auvent. La réalisation des parois constituant l'enveloppe de cette structure en bois et une éventuelle cloison intérieure pour les plans les plus spacieux exploite les procédés de bois et terre que l'on a précédemment évoqué. Pour les cloisons intérieures et la paroi la mieux exposée au soleil, se sont principalement les procédés d'*estaneo*, de *fajina* ou de *palo a pique*. Le *terrón* est utilisé pour constituer des murs extérieurs plus massifs à forte inertie thermique isolant le *rancho* à la fois des plus basses températures de l'hiver et de la saison estivale très chaude. Les finitions de cet habitat modeste sont également limitées à ces enduits de terre argileuse amendée de sable et stabilisée au fumier, au mieux réalisés en deux couches. Les sols sont le plus souvent en terre battue ou au mieux en briques d'adobe et plus récemment en briques cuites produites *in situ* avec des fours artisanaux.

Le rancho comme source d'inspiration d'une architecture contemporaine en « terrón ».

Les projets de l'architecte Cecilia Alderton Belluni

Les projets d'architecture de Cecilia Alderton Belluni valorisent un retour à l'emploi des matériaux de construction utilisés dans la tradition des architectures vernaculaires et trouvent un ancrage privilégié dans la culture du rancho uruguayen que l'on a précédemment décrite. Cette approche trouve ses fondements au début des années 80 alors que cette jeune architecte visitait l'Europe, découvrait à Paris l'exposition du Centre Georges Pompidou « Des architectures de terre », puis séjournait quelques temps sur le continent africain. Dès lors, ses pratiques professionnelles en étaient orientées comme ce fut le cas de nombreux architectes de cette génération marquée par la crise de l'énergie pétrolière et le mouvement de la jeune culture des années 70-80. Dans le contexte uruguayen, ce positionnement d'avant-garde est resté isolé au cours des deux dernières décennies alors qu'aujourd'hui, une nouvelle génération de professionnels et un plus large public (autoconstructeurs) semblent être en mesure de lui donner plus d'ampleur comme le montre un certain engouement pour une offre de sensibilisation-formation (stages et cours intensifs) sur l'architecture de terre proposés par la Faculté d'Architecture de l'Université de Montevideo où l'architecte Cecilia Alderton joue un rôle de premier plan. Une évolution à situer dans l'émergence d'une tendance internationale en faveur d'une « bioconstruction » ou « bioarchitecture », d'une architecture « naturelle » ou « écologique », d'une architecture à « haute qualité environnementale » ou encore d'une « architecture pour le développement durable ». Autant de qualificatifs désignant

cette recherche d'alternative à une architecture consommatrice d'énergie, coûteuse, aux formes banalisées, peu soucieuse de ses impacts sur les environnements physiques naturels et contribuant à l'éradication d'un patrimoine de cultures constructives aussi riche que divers.

Les projets de Cecilia Alderton réalisés jusqu'à ce jour sont essentiellement des projets d'habitat - résidences principales ou secondaires - situés dans la périphérie de Montevideo (département de *Canelones*) et jusqu'à *Punta Ballena* et *Punta del Este* (département de *Maldonado*). Ces réalisations répondent à une clientèle issue d'une classe sociale moyenne, voire aisée, motivée et convaincue par les arguments que défend l'architecte. Le parti de conception architecturale prend fondamentalement en compte l'intégration dans l'environnement et la limitation des impacts nocifs sur celui-ci. Il valorise l'emploi des matériaux locaux disponibles sur le site même de la construction, une approche bioclimatique et dans la mesure du possible un projet paysager fondé sur la mise en valeur des essences végétales régionales, voire plus strictement locales. Ainsi, ces projets ont été construits en associant le bois (ossature porteuse et charpente de couverture), les végétaux et plusieurs modes d'utilisation de la terre en construction soit : l'adobe, le torchis (*fajina*), les bottes de paille enduites de terre (« Casa Cetrulo », 1997 à *Punta Ballena*) et plus récemment les « *terrones* » (mottes de gazon). On s'attachera surtout à décrire ce matériau et les systèmes



Fig. 16 : Découpe à la bêche des blocs gazonnés. Le jeune maître-maçon Roberto Dominguez sur le site de Tierra Alta (maison Alderton-Urrestarazu) en novembre 2000.
© Hubert Guillaud, CRATerre-EAG



Fig. 17 : chaise en bois servant au transport des mottes de gazon fraîchement coupées jusqu'au pied du mur. site de Tierra Alta (maison Alderton-Urrestarazu) en novembre 2000. © Hubert Guillaud, CRATerre-EAG

constructifs exploitant ses potentialités. L'architecte Cecilia Alderton a utilisé les *terrones* dès 1991 sur un premier modèle démonstratif de 30 m² qui constituait sa première habitation et les locaux de sa « Fundación Tierra » (Fondation Terre), installée en milieu urbain, à Montevideo (Rue Bolivia). Les projets les plus récents sont datés de 1998 (Maison Weiss, 290 m², sise à « *Isla de Coronilla* », département de *Maldonado*) et sa propre maison, « *Tierra Alta* », réalisée en 2000-2001, département de *Canelones*. Plus récemment, au cours de cette année 2001, une nouvelle habitation de 120 m² pour la famille Lorenzo a été construite à Solís de Mataojo, département de Lavalleja.

Dans le contexte uruguayen, la référence manifeste au « *rancho* », proposée comme une alternative d'habitat écologique, prend une valeur culturelle emblématique. Cela d'autant que cette culture constructive du *rancho* qui était dominante en milieu rural jusque dans les années 1960 - et qui a connu un certain degré d'élaboration, au-delà de la « cabane primitive » des premières époques de colonisation - a été pratiquement laminée en l'espace de quelques décennies au profit d'une architecture « sociale », rurale et populaire, entièrement réalisée en matériaux industriels (blocs de béton, toitures en tôles) traduisant une réponse « constructeur » très appauvrie par rapport à cette culture d'habitat antérieur. Les projets proposés par l'architecte Cecilia Alderton, redonnent non seulement une place à cette culture constructive et architecturale pratiquement disparue (seuls de très rares exemples existent encore) mais proposent un degré supérieur d'élaboration répondant aux exigences qualitatives de la société contemporaine. Cette évolution est notoire sur la qualité des structures, sur l'ensemble des finitions et sur le niveau de confort.

Les matériaux et les systèmes constructifs

Les réalisations qui nous serviront de référence sont celles que nous avons pu visiter en novembre 2000 et qui ont été aimablement documentées par l'architecte Cecilia Alderton, la « Casa Weiss » (1998) et la propre habitation de l'architecte, « *Tierra Alta* » (2000-2001).

La saison propice à la découpe des blocs est située entre la fin du mois d'août et la mi-décembre ce qui, dans l'hémisphère austral, correspond au printemps et jusqu'au début de l'été. En effet, les *terrones* sont découpés quand le sol est ni trop humide – car ils se désagrègeraient en plus petites mottes par excès de plasticité -, ni trop sec - car ils se désagrègeraient en état pulvérulent par manque de cohésion. Pour conserver un bon degré d'humidité du sol durant toute la saison propice à l'extraction des mottes, celui-ci est protégé par une couche de paille qui contient l'évaporation, notamment durant la fin de saison, plus chaude (Fig. 16). Sur les deux projets référencés, les mottes de gazon ont été extraites sur place dans les champs herbeux entourant le chantier. Leur découpe s'est faite de façon manuelle, à la pelle-bêche, et au fur et à mesure des besoins en construction appliquant le principe de l'utilisation de la terre au pied du mur. La dimension des mottes est réglée par deux considérations. D'une part, la largeur des murs qui vont être construits, de l'ordre de 60 cm (base du mur sur soubassement) à 40 cm (haut du mur, à partir des linteaux de baies et jusqu'à la sablière), ceux-ci étant dressés à fruit extérieur et à parement vertical en intérieur. Ainsi, la largeur du mur (de 40 à 60 cm) donne la dimension des mottes dans leur longueur. Leur largeur est d'environ 20 cm et leur épaisseur d'environ 15 cm correspondant à la hauteur de chaque rangée de mottes. La découpe dans l'épaisseur des mottes se fait avec une légère inclinaison de la bêche, cela permettant de mieux les caler ou les appuyer les unes contre les autres lors de leur appareillage dans le mur. Nous retrouvons là des dimensions courantes qui ont été décrit par la littérature, notamment pour les « *soddies* » du Nebraska. D'autre part leur poids en veillant à ne pas pénaliser le transport depuis l'extraction au pied du mur ; ainsi, pour les dimensions précisées par avant, le poids moyen des mottes se situe entre 15 à 20 kg. La manutention se fait à l'aide d'une chaise en bois sur quelques mètres de distance, au pire quelques dizaines de mètres (Fig. 17).

Principes de structure et de construction

Charpente en bois ronds

Les projets de l'architecte Cecilia Alderton reprennent les grands principes de structure des *ranchos* traditionnels en les améliorant considérablement. Il s'agit d'une charpente en bois ronds, généralement de l'eucalyptus (Ø 12/15 cm), bois abondant, solide et pratiquement imputrescible. Ces fûts d'eucalyptus, constituent autant de colonnes noyées en leur base dans un bulbe de béton et reçoivent en partie haute une poutre ronde (Ø 12/15 cm) jouant à la fois le rôle de chaînage et de panne sablière (« *solera* »). Celle-ci sert d'appui aux entrants de plusieurs fermettes de charpente (« *cercha* ») - qui restent le plus souvent apparentes en sous-toiture – et aux *tijeras* (chevrons) recevant à leur tour les *alfajias* (litesaux) et le *quinchado* (chaume). Compte tenu de la charge importante des murs en *terrones*, ceux-ci sont dressés en périphérie d'un radier en béton armé qui garantit une bonne assise générale de la construction. C'est là le seul compromis ménagé à l'égard de principes de construction actuels et des normes en vigueur.

Murs en mottes

Les murs de *terrones* constituent donc des parois de remplissage de cette structure en bois ronds. Les mottes sont dressées face herbeuse retournée ce qui correspond à ce que l'on a précédemment évoqué pour d'autres traditions (nord-américaine, écossaise). L'architecte convient qu'il existe plusieurs théories à ce propos, certains arguant qu'ainsi « la terre se meurt » (cela voulant certainement dire « sèche plus facilement »), d'autres disant que la face terreuse est la plus plane pour bien régler les assises successives de mottes et pour les assembler par paires successives. Certains arguant encore que les mottes sont plus faciles à manipuler avec la face terreuse dans le sens normal alors que si on les retourne, face herbeuse en bas, elles se rompent plus facilement sous l'effet de leur propre poids. Ces raisons ne semblent pour autant pas justifier la façon d'utiliser les mottes mais Cecilia Alderton s'en tient au respect de la tradition constructive qu'elle a observée ou qui lui a été rapportée par les anciens. Une certaine logique « naturaliste » incline à recomposer dans le mur la séquence de découpe des mottes dans le sol. Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de tasser les mottes avec la bêche car ce tassement s'opère de lui même sous l'effet de leur poids propre. Un autre avantage doit être relevé. Il s'agit de la possibilité d'entailler ces murs pour réaliser des niches propices à la réalisation de futures étagères ou placards intégrés dans l'épaisseur des parois. Cela doit être prévu à l'avance en positionnant des linteaux (généralement des planches épaisses) et ces creusements sont réalisés à frais, à l'aide d'un couteau-machette. De même, le séchage progressif, très lent, de ces murs en *terrones* qui peut prendre une année entière, permet de bien contrôler la rétraction du matériau. Les inévitables fissures qui apparaissent peuvent être alors rebouchées, à l'aide d'une barbotine de consistance crémeuse passée à la main, avant de réaliser les enduits.

Sur la question de la stabilité de ces murs en *terrones*, l'architecte dit avoir visité de vieilles constructions dont les murs était au moins épais de 1 mètre. Elle s'interroge sur le rapport entre l'épaisseur et la hauteur des murs (élancement) qui n'est pas définie et que la tradition a approché intuitivement avec des ratios de l'ordre de 1 : 3 ou 1 : 4, ce qui est largement suffisant pour garantir la stabilité des murs d'une maison en mottes de gazon de plain-pied. Dans la tradition du *ranchito* d'Uruguay, il n'existe aucun édifice de 2 niveaux.

Cloisons

Le principe de la structure en bois permet de se passer assez facilement de murs de refends épais. Ainsi, toutes les cloisons intérieures des projets visités sont construites en *fajina*, soit en panneaux de petits bois ou bambous recouverts de terre argilo-limoneuse amendée en paille hachée en longs brins. Ce mélange, préparé plusieurs jours à l'avance, foulé aux pieds, doit présenter une consistance très plastique pour bien pénétrer la maille de petits bois. La largeur de ces cloisons peut être réglée à souhait, selon la section des petits bois, le mode de réalisation des clayonnages ainsi que l'épaisseur de la couche de terre. La finition se fait au moyen d'une deuxième couche de terre argilo-limoneuse amendée en sable appliquée en forme de barbotine crémeuse, bien après que la première couche ait opéré son retrait. Ce principe constructif présente aussi un avantage important : l'intégration de tous les réseaux et câblages électriques dans l'épaisseur des cloisons.

Couverture

Elle est réalisée en *quinchado* constitué de plusieurs couches de matériaux végétaux locaux. Sur les liteaux est déposée une natte de petits roseaux qui reçoit à son tour une deuxième couche de joncs plus épais puis vient le chaume posé en bottes sur 30 cm d'épaisseur. En façage, côté extérieur, le chaume est protégé par un grillage qui aide au maintien de la paille lors de grands vents et réduit aussi le risque de destruction par les oiseaux. Un large débord de toiture de 60 cm de large protège les murs de *terrones* en leur partie haute et repousse le ruissellement au-delà de ces murs (Fig. 18).

Les enduits

Ils sont réalisés après que l'ensemble des murs de *terrones* aient opéré leur tassement sous le poids propre des mottes et leur retrait par séchage. Cela prend au moins un an. Les enduits, intérieurs comme extérieurs, sont alors dressés en deux couches en utilisant une terre argilo-limoneuse tamisée. La première couche d'accrochage est dressée avec cette terre amendée de longs brins de paille, sur 1,5 à 2 cm d'épaisseur. Il faudra attendre le retrait de cette première couche et sa fissuration pour réaliser une finition en terre argilo-limoneuse amendée de sable passée à la main en barbotine crémeuse. Notons que pour la bonne finition des enduits au droit des colonnes en bois qui peuvent rester apparentes en intérieur, une toile de jute a été préalablement fixée aux colonnes jouant le rôle d'armature et de liaison mécanique (Fig. 19).



Fig. 18 : Le chantier de Tierra Alta en novembre 2000. On y peut observer l'aire d'extraction des mottes de gazon.
© Hubert Guillaud, CRATerre-EAG



Fig. 19 : Intérieur : futur salon coin cheminée avant réalisation des enduits intérieurs.
© Hubert Guillaud, CRATerre-EAG

la reconquête d'un savoir-faire

Du chemin a été accompli depuis que cette jeune architecte uruguayenne a choisi de construire en terre et d'en faire la démonstration. Il lui a fallu expérimenter elle-même sur des réalisations successives, modestes dans un premier temps, et de plus en plus ambitieuses puisque ce sont aujourd'hui des habitations de taille importante. Cette expérience alimente encore le constat des difficultés qui doivent être affrontées et dépassées pour construire en terre dans des régions où les pratiques ne sont plus « vivantes ». Les expériences montrent qu'un tel défi impose l'obligation d'un rapprochement des compétences d'architecte et d'entreprise amenant finalement à constituer une équipe rassemblée autour du même objectif de travail et pouvant assurer tous les métiers de la chaîne de production, de la carrière aux finitions de l'édifice. C'est bien le cas de l'architecte Cecilia Alderton qui a dû constituer autour d'elle une équipe lui permettant de compter sur trois personnes « clés » maîtrisant trois domaines de compétence bien spécifiques : il s'agit d'un jeune entrepreneur qui réalise les travaux de charpente, d'un vieil artisan spécialiste de la couverture en chaume

(« *quinchador* ») et surtout d'une jeune maître-maçon, Roberto Dominguez, travaillant aux côtés de Cecilia Alderton depuis 7 années. Aujourd'hui âgé de 25 ans, le jeune Roberto était associé aux réalisations de l'architecte alors qu'il avait 18 ans et manifestait rapidement un véritable passion pour ce travail de construction en matériaux naturels. Travailleur doué, d'une sensibilité et d'une intelligence pratique peu communes, il intégrait rapidement l'expérience de Cecilia Alderton et élevait considérablement son niveau de compétence au point d'être aujourd'hui l'un des rares spécialistes de cette technique de construction dans le monde. Toute cette équipe est aussi très généreuse. Elle le démontre en agissant pour transmettre son savoir-faire à d'autres jeunes architectes et constructeurs uruguayens convaincus par la qualité des réalisations et se préparant à répondre à une demande sociale émergente sur le marché local. Ainsi fonctionne le renouveau des architectures de terre, s'appuyant d'abord sur les convictions et les énergies de personnes qui, par leur niveau d'engagement, sont souvent des militants.

V - Conclusion

Cette communication entendait faire le point sur un procédé de construction qui n'a jusqu'alors que très peu retenu l'attention des chercheurs et l'intérêt de professionnels apportant leurs contributions à une réactualisation du débat scientifique et des pratiques constructives dans le domaine de la construction en terre. Le propos développait une double approche avec un regard historique et culturel, d'une part, et une mise en perspective technique et architecturale, d'autre part.

Concernant l'aspect historique et culturel, il apparaît clairement que la construction en blocs de terre découpés, avec un accent particulier porté à la culture constructive des mottes gazonnées, remonte à des temps très anciens. Si ce procédé de construction a été notamment associé à l'édification d'ouvrages militaires tels que fossés consolidés, remparts, murs ou digues dont les exemples fameux du Mur d'Antonin (143 ap. J.C.) et de la maison-forte de Solvig (XIV^e s.) témoignent et dont de nombreux autres exemples ne peuvent plus témoigner (ouvrages liés par exemple à l'édification des premiers châteaux à mottes à partir de la fin du X^e s.), il a été à l'évidence bien davantage employé pour la construction des habitats. Il est bien sûr aujourd'hui extrêmement difficile, voire souvent impossible, sur le terrain des fouilles archéologiques et historiques, même face à l'évidence de structures à poteaux de bois, d'identifier les matériaux et les techniques de construction en terre qui ont été employés pour le hourdage des parois dressées entre ces poteaux. Cela vaut notamment pour établir une claire distinction entre un torchis – dont l'évidence peut être implicitement induite par des empreintes du maillage de petits bois dans des fragments de parois pétrifiés ou indurés par exemple - et des mottes de gazon que le temps a complètement désagrégé. Ainsi, l'exemple de l'évidence d'emploi de mottes de gazon pour la maison-forte de Solvig ou pour d'autres sites fameux comme Hound Tor ou Lydford (Devon) sont bien rares. Et pourtant, ce procédé de construction en mottes de gazon a été finalement très employé durant l'histoire, depuis l'antiquité, durant le Moyen Age et jusqu'à une époque récente et sans doute pour une large typologie d'édifices militaires et civils et notamment pour l'habitat rural. Il y a donc lieu de s'interroger plus avant sur les modes d'analyse de l'évidence d'emploi de ce matériau au cours de l'histoire. Une autre dimension historique a été relevée qui concerne le transfert de cette culture constructive des mottes gazonnées depuis l'Europe vers les Amériques et l'Australie, à partir du XVIII^e s avec les grands mouvements d'émigration-immigration et colonisation de nouveaux territoires. L'emploi de quelques pièces de bois et des mottes gazon permet de dresser assez vite un abri prenant place sur les terres que l'on entend défricher et mettre en valeur. Cette pratique, avec l'exemple des colons des grandes plaines d'Amérique du Nord (Nebraska), de la région de Victoria en Australie comme des territoires de la Pampa d'Uruguay et sans doute d'Argentine, s'impose comme « la » culture constructive de ceux que l'on a appelé les « pionniers » ou les « colons ». L'étude scientifique de la collection de clichés remarquables de Solomon Devoe Butcher, comme du fonds des « histoires de pionniers », au-delà du travail réalisé par Roger L. Welsch (1968), devrait être en mesure de fournir bien d'autres éléments de connaissance sur la production des matériaux, la technique de construction, les systèmes constructifs et leurs performances structurales, la typologie architecturale. Il apparaît notamment très clairement que, même si la plupart des habitats de ces familles paysannes peu aisées ont été modestes, certains ont atteint des degrés d'élaboration très étonnant (maison Gordon Haumont). Par ailleurs, la recherche technique et architecturale actuelle bute sur un manque de données concernant les traditions constructives vernaculaires - anciennes et plus récentes - des régions d'Europe centrale et septentrionale, les territoires d'Asie centrale, qui ont valorisé l'utilisation des mottes de gazon. De telles recherches mériteraient d'être davantage soutenues. Ce sont là autant d'éléments utiles à une revalorisation de la technique, à la fois dans une perspective historique et culturelle, et dans une dimension technique prospective : quel avenir pour la construction en mottes de gazon découpées sur la base de la reconnaissance d'un véritable « art de bâtir » à part entière qui n'a somme toute régressé et disparu que très récemment ? Il semblerait en effet que l'on ait encore construit des « *soddies* » aux Etats-Unis, avant la Deuxième Guerre Mondiale et peut-être ne serait-il pas étonnant d'apprendre, grâce à la recherche, que ce fut aussi le cas dans d'autres régions du monde (le maintien de la tradition du « *rancho* » uruguayen nous l'indique par ailleurs).

Concernant justement cette dimension prospective que l'on peut aussi établir sur les pratiques de réactualisation récente, plusieurs niveaux de questionnement sont révélés. Dans le domaine de la conservation du patrimoine, des actions de valorisation du type de celles qui ont été réalisées par le Musée de Kingussie dans les Highlands d'Ecosse, devraient être davantage encouragées. La « restitution » d'édifice anciens, à des fins d'analyse historique, d'étude technique, comme de valorisation culturelle voire folklorique offre des voies de travail des plus intéressantes. Elle confirme aussi le constat de la grande difficulté à retrouver le savoir-faire utile pour de telles restitutions comme d'ailleurs pour une construction réactualisée. Il y a sans doute aussi davantage d'expériences qui ont dû être développées, poursuivant le même objectif, qui demeurent mal, voire non identifiées. Tout comme d'ailleurs des tentatives de construction de formes d'habitat alternatif qui auraient pu avoir été réalisées par des auto-constructeurs dans les années 1960 à 1980, dans le contexte de la diffusion du mouvement de la jeune culture et des technologies appropriées. Enfin, les expériences remarquables d'Uruguay (projets de C. Alderton), demeurent encore très isolées et insuffisamment analysées pour apporter un autre niveau de réponse à ce questionnement de la faisabilité future d'un nouveau développement significatif de la construction et de l'architecture en mottes gazonnées. Une analyse technique et économique plus poussée s'impose d'autant qu'une demande sociale et de nouvelles perspectives de marché semblent être en mesure d'émerger en application du nouveau paradigme de développement durable.

Bibliographie :

- Allen années 1990** (non précis) : ALLEN, M. - *Earth Building in New Zealand*, article publié dans la revue NZ Environment, n° 67, pp. 18-20. Auckland, années 90.
- Baalbaki 1980** : BAALBAKI, M.-A. - *Zur Bodenmechanischen Beurteilung lateritischer Zersatzprodukte von Vogelsberg-basalten*, Giessener geol. Schr. 24 : 138 S., Giessen, 1980.
- Basin 2001** : BASIN (Monographies) - *Wall Building Case Study, Laterite quarries in Goa 1 : observations on techniques, wages and finances*, Editions Gate, Eschborn, Allemagne, 2001, 6 p ; et BASIN (Monographies) - *Wall Building Case Study, «Laterite quarries in Goa 2 : observations on regulations and environment issues»*, Editions Gate, Eschborn, Allemagne, 2001, 6 p.
- Buchanan 1807** : BUCHANAN, F. - *A journey from Malabar through the countries of Mysore, Canara and Malabar*, East India Company, 2 : 436-460 ; London, 1807.
- Chabataroff années 1990** (non précis) : CHABATAROFF, F. - *El rancho, alternativa habitacional ecológica*, article publié dans la presse uruguayenne, coupure en photocopie non datée.
- Chapelot et Fossier 1980** : CHAPELOT, J. et FOSSIER, R. - *Le village et la maison au Moyen Age*, bibliothèque d'archéologie, Editions Hachette Littérature, Paris, 1980, 340 p.
- Fenton et Walker 1981** : FENTON, A. et WALKER, B. - *The Rural Architecture of Scotland*, Edinburgh, U.K., 1981.
- Gidigasú 1976** : GIDIGASU, M.D. - *Laterite soil engineering. Pedogenesis and engineering principles*, Monographie, B.R.R.I., Kumasi, Ghana, 1976.
- Guerrero 1992** : GUERRERO, E.G. et Al - *Distribución de los tepetates de la Republica Mexicana, escala 1 : 4,000,000*, in Primer Simposio Internacional «Suelos Volcanicos Endurecidos», México, 20-26 de octubre 1991, «Terra», vol. 10, numéro spécial, Editions de l'Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., avec le concours de l'ORSTOM, 1992, 572 p., pp. 131-136
- Hertz 1973** : HERTZ, J. - *Further excavations at Solvig, a danish crannog in southern Jutland : a preliminary report on the years 1965-66 and 1969*. Château-Gaillard, VI, Caen, 1973, pp. 97-106.
- King 1896** : KING, D.W. - *Homes for Home-Builders ; or practical designs for country, farm and village*. Edit. par O. Judd Co. & David W. Judd, New York, 1896.
- Lewis 1977** : LEWIS, M.B. - *Victorian Primitive*, Greehouse Publications, Carlton, Victoria, Australie, 1977, 87 p.
- Noble 1983-84** : NOBLE, R. - *Turf-Walled Houses of the Central Highlands. An Experiment in Reconstruction*, in Folk Life, A Journal of Ethnological Studies, Volume 22, 1983-84, pp. 68-83.
- Okunlola 1980** : OKUNLOLA, F.A. - *Zusammenhänge zwischen mineralogisch-geochemischem Aufbau und bodenmechanischem Verhalten von Lateriten aus West Gabun und Südwest Nigeria*, Giessener geol. Schr. 25 : 140 S., Giessen, 1980.
- Pesez 1985** : PESEZ, J.M. - *La terre et le bois dans la construction médiévale*, in Architecture de terre et de bois, sous la direction de Jacques Lasfargues, DAF n°2, éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1985, 191 p., pp. 159-167 et plus part., p. 163.
- Pline l'ancien 1^{er} s. ap. J.C.** : PLINE L'ANCIEN - *Histoire naturelle*, édition des universités de France, collection Guillaume Bulé, Livre XXXV, XLXIII.

Quantin 1992 : QUANTIN, P. - *L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique latine : processus géologique et pédologique*, in Primer Simposio Internacional « Suelos Volcanicos Endurecidos », México, 20-26 de octubre 1991, « Terra », vol. 10, numéro spécial, Editions de l'Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., avec le concours de l'ORSTOM, 1992, 572 p., pp. 24-33.

Rigassi et Nève de Mervegnies 1994 : RIGASSI, V. et NEVE DE MERVEGNIES, T. - *Projet d'extension de l'entreprise Nikiema & Cie à Bobo Dioulasso, Burkina Faso*, rapport ONUDI, éditions CRA Terre-EAG, Grenoble, janvier 1994, 46 p. + annexes.

Schweitzer 1981 : SCHWEITZER, F. - *Bodenmechanische Eigenschaften afrikanischer Laterite in ihren Kenngrößen und Beziehungen*, Mitt. Inst. Bodenmechanik & Grundbau. Hochschule der Bundesanst. Geowiss. u. Rohst. : 51 S. ; Hannover, (Unveröff.), 1981.

Stubendorff 1986 : STUBENDORFF, U. - *The mechanical properties of tropical-weathering products and their relationship to the mineralogical and chemical composition*, Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Heft 43, Ed. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 1986, 140 p.

Tacite 1^{er} s. ap. J.C. : TACITE - Germania, XVI, 3.

Walker et McGregor 1996 : WALKER, B., MCGREGOR, Ch - *Earth Structures and Construction in Scotland. A Guide to the Recognition and Conservation of Earth Technology in Scottish Buildings*, Historic Scotland Technical Advice Notes n° 6, Edinburgh, Ed. Historic Scotland, 1996, 128 p.

Walker, McGregor et Stark 1994 : WALKER, B., MCGREGOR, Ch et STARK, G. – *Earth Buildings in Scotland and Ireland*, in Int. Conf. Out of Earth 1994, University of Plymouth, U.K., 1994, pp. 26-36

Welsch 1968 : WELSCH, R.L. - *Sod walls. The story of the Nebraska Sod House*, Ed. Purcells, Inc. ; Broken Bow, Nebraska, U.S.A., 1968.

IIèmes Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue 28-29 mai 2005, Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau

Evolution de la culture constructive et architecturale du pisé

(article publié dans les Actes des Echanges, 2007, éditions de l'Espérou, Montpellier)

Le pisé : matière, matériau et cultures constructives en évolution.

La terre de pisé est plutôt sableuse, riche en graviers et petits cailloux, peu argileuse, ce qui la distingue des terres employées par d'autres techniques comme le torchis, la bauge et l'adobe de surcroît amendées en fibres végétales, herbes, pailles ou brindilles. Le procédé traditionnel du pisé consiste à aérer cette terre une fois extraite pour briser les mottes, tout en conservant son humidité naturelle, plutôt faible, et à la compacter dans un coffrage glissant¹ (fig. 1a ; fig. 1b) à l'aide d'un pilon lesté d'un manche, le pisoir ou la dame. C'est du latin *pinsare*², qui signifie piler, broyer, qu'est dérivé le terme français pisé (pisay, pisey, pezay). La filiation sémantique arabe, dérivée de *Otob* et de *toub*, donnait aussi *tabîya* (Bazzana, 1993; 1996³), vocable utilisé par les Maures à l'époque de al-Andalus, des territoires du Maghreb à l'Andalousie et jusqu'en Estremadura. C'est à partir de *tabîya* que dérive toute une lignée de termes : *tapia* (le pisé) et *tapial* (le coffrage), en espagnol ; *taipa*, en portugais ; *tapy* en langue d'Oc. L'origine de cet attrait des bâtisseurs pour la terre compactée semble pouvoir être rapportée à la réalisation de plateformes de terre supportant des édifices, damées par de lourds cylindres en pierre, ou plus simplement pour réaliser des sols durs ou des toitures terrasses en terre, accessibles. On repère cela en Chine, dès le II^e millénaire av. n.è., sous la dynastie Shang, avec les Palais Yin d'Anyang, élevés sur de telles plateformes mais érigés en structure bois hourdée de torchis (Dunzhen, 1980). Puis viendront les premières fortifications de terre battue de Zhengzhou. Il est possible, en divers lieux de civilisation, qu'une nouvelle intelligence constructive ait pu résulter par la suite d'une fusion de l'art de plus en plus élaboré de la charpenterie en bois et de la maçonnerie de terre permettant de passer du compactage par cylindrage au principe du coffrage, cette évolution allant de pair avec la recherche d'économie dans l'édification des murs monolithiques épais en terre, plutôt qu'en pierres. Le fait avéré en plusieurs cultures du monde que ce sont traditionnellement les charpentiers qui livrent les ouvrages en pisé et leur couvert invite à explorer ce genre d'hypothèse. Au Maghreb et en Europe, cette technique de terre crue coffrée et damée semble pouvoir être rapportée aux cultures du Levant méditerranéen et à leur adaptation dans l'espace du *Mare nostrum*. Par exemple, bien que construisant en pierres à gros appareil (Sidon, Ugarit), les Tyriens l'auraient élaborée en émigrant vers l'Afrique du nord, avec la fondation de Carthage (814 av. n.è.), sur le site de Byrsa où ils ne trouvèrent pas immédiatement les carrières de pierres du Cap Bon. L'hypothèse de l'invention du pisé, comme solution se situant entre l'art maîtrisé de la charpenterie navale des « peuples de la mer » imaginant le coffrage, et de la maçonnerie de pierre en gros appareil modélisant le monolithisme de murs épais en terre, la banchée se substituant aux blocs massifs, mériterait d'être étudiée plus avant. Cette tradition punique du pisé est attestée par les vestiges du quartier d'Hannibal, sur cette colline de Byrsa, à Tunis, datés du 2^{ème} siècle av. n.è. mais utilisée dans des formes d'application urbaine, soit en parois moins épaisses, et de façon éclectique avec d'autres matériaux en remplissage des parois en *opus africanum*⁴.

Les traditions du pisé sont légion dans le monde. Citons les fortifications des villes impériales du Maroc, Fès et Marrakech, la grande tradition des ksour et kasbahs (fig. 2) des vallées du Ziz, du Rhéris, du Dadès et du Drâa (Terrasse,

¹ Le modèle de coffrage à pisé typique, adopté par la majorité des cultures traditionnelles, que ce soit en Europe, au Maghreb, en Amérique latine, consiste en deux banches faites de planches solidarisées par des traverses clouées, soutenues par des clefs horizontales en bois, qui reçoivent des potelets en parement extérieurs pour les caler, eux-mêmes étant reliés en leurs sommet par des cordages torsadés. Le coffrage est déplacé par glissement, une fois chaque banchée de pisé réalisée et immédiatement décoffrée. Une gravure célèbre du traité *l'Art de Bâtir* (1840) de Jean-Baptiste Rondelet, décrit la tradition française.

² Pour autant, on ne trouve pas de filiation directe entre le terme latin *pinsare* et l'italien moderne, si ce n'est avec un terme régional des Abruzzes, *pingiare* (Bertagnin 1999), qui veut dire comprimer mais en référence au tassement de la bauge. D'une manière générale, en Italie, les maisons de pisé sont des *case battute* (maisons battues) ou *case di terra battuta*.

³ André Bazzana, directeur de recherche au CNRS et à la Maison de l'Orient Méditerranéen de Lyon a clairement défini cette filiation sémantique avec la terminologie arabo musulmane dans une communication présentée lors de la Conférence internationale Terra 93 au Portugal, et dans un article publié dans la revue portugaise *Mediterrâneo*, en 1996.

⁴ Le principe de *l'opus africanum* est typique du mode de construction punique. Il s'agit de dresser d'abord des piliers en pierres qui seront ensuite harpés avec des remplissages en matériaux variés, pierre, briques de terre crue ou pisé. Ces piliers angulaires et intermédiaires constituent en outre de bons supports de mise place des coffrages et de réglage de l'épaisseur des parois de remplissage « en vrac ». Par suite, au 1^{er} siècle ap. n.è., Pline l'Ancien, dans son *Histoire Naturelle* (XXXV, 48), évoque l'existence de tours de guet en pisé, en Afrique et en Espagne, attestant d'une pratique punique des époques d'Hannibal.

1938 ; Jacques-Meunié, 1951, 1962 ; Montagne, 1930), au sud, avec le site des Aït Ben Haddou, classé au Patrimoine Mondial de l'UNESCO. Relevons l'unique exemple des grandes maisons rondes fortifiées des Hakka du *xian* de Yongding, au Fujian (sud-est), les fortifications et l'habitat du Bhoutan qui associent intelligemment le pisé en premier niveau et l'ossature bois et le torchis en étage, principe parasismique par excellence répondant sans aucun doute à une mémoire collective de ce risque toujours latent ; et les monastères tibétains du Ladakh, les grandes lamasseries du Tibet. Mais encore, les cultures de pisé d'Europe avec la tradition du Dauphiné, de la Bresse et du Forez, en France. Et la magnifique tradition des fortifications arabo musulmanes d'Espagne dont *Caceres* en Estremadura, l'Alhambra de Grenade, l'Alcázar de Séville, les sites fortifiés de la province de Murcia et, au Portugal, les fortifications de *Alcaçer do Sal* ou de *Silves* et de *Paderne* en Algarve (Correia, 2000). Et l'habitat vernaculaire rural comme urbain du nord de la Castille, dans le triangle Valladolid, Burgos et León. Ou encore, en Amérique latine, les traditions de pisé des époques incas, au Pérou (site de *Puruchuco*), la ville coloniale de *Ouro Preto*, dans le *Minas Gerais*, au Brésil. Rappelons aussi qu'une grande partie de la Muraille de Chine est en pisé. Les évolutions récentes de la technique du pisé, au-delà de l'évolution du compactage manuel vers un damage mécanique⁵, décrivent plusieurs tendances. Une approche de type ingénierie qui s'est focalisée sur la réduction de l'épaisseur des murs en pisé et l'emploi de coffrages intégraux utilisés pour le béton ou dérivés. Cette orientation a été prise par des chercheurs brésiliens et cubains⁶, ou encore pour des expérimentations réalisées à Ouarzazate, au Maroc, en 1968, par l'ingénieur français Alain Masson et l'architecte belge Jean Hensens (Hensens, 1970). D'autres approches ont porté sur l'évolution des solutions de coffrages avec des systèmes intégraux d'angles en « L » et des liaisons de murs extérieurs et de refend en « T », comme l'imaginait G.F. Middleton en Australie, dans les années 1950 (fig. 3). Par la suite, la préférence des constructeurs est allée vers les coffrages grimpants permettant d'élever des murs trumeaux⁷ successifs. Ce système constructif est largement exploité en Australie, et aux Etats-Unis où semble aussi se développer la technologie du pisé béton projeté (David Easton). Une nouvelle direction est celle du pisé préfabriqué. Le constructeur français Nicolas Meunier réalise des blocs de pisé *in situ*, sur ses chantiers, puis les met en place à la grue, tel un lego. Dans le même esprit, l'innovation la plus remarquable a été développée ces dernières années en Autriche, par l'architecte et entrepreneur Martin Rauch. Ce sont des pans de mur en pisé aux dimensions modulaires, composants préfabriqués en atelier, conditionnés pour être transportés sur les chantiers. Ils sont ensuite assemblés par empilement, à la grue, pour dresser des murs qui garderont leur texture naturelle⁸. Enfin les toutes récentes évolutions concernent la mise en œuvre de pisé en vrac, dans des parois-enveloppes formant coffrage, mais également des bétons de terre et granulats coulés dont le contrôle de la cohésion autorise un décoffrage très rapide⁹. Toutes ces évolutions seront plus précisément analysées en fin de cet article. L'art de bâtir en pisé est complètement renouvelé, recréé, et peut rivaliser avec toutes les technologies actuelles de maçonnerie.

2. Brève évocation du legs technique et culturel d'un important corpus de textes historiques.

Depuis Hérodote¹⁰, surnommé « le père de l'histoire », un lignage continu d'auteurs a fait l'éloge de la construction en terre, vantant notamment ses qualités pour l'édification des domaines ruraux et de leur clos. Mais, si Vitruve¹¹ demeure

⁵ Le pisoir en bois traditionnel a été remplacé au cours des dernières décennies par l'utilisation de fouloirs pneumatiques dérivés de l'industrie de la fonderie, utilisés pour réaliser les moules en sable stabilisé des pièces en fonte. Ces fouloirs sont couplés à des compresseurs en basse pression.

⁶ Dans les années 1970, la corporation des industriels des ciments et bétons a développé un centre expérimental à São Paulo et réalisé plusieurs prototypes exploitant le pisé-béton (stabilisé au ciment) en coffrages intégraux (MEC/SG/CEDATE, 1988). A Cuba, La Havane, dans les années 1980, un centre national de recherche et expérimentation a imaginé des dalles de pisé stabilisé au ciment utilisée en remplissage d'ossatures en béton armé, par empilement.

⁷ Imaginons une succession de pans de murs en pisé, avec des vides entre eux. Ils seront ensuite comblés, soit par des systèmes indépendants d'ossature, en bois ou en béton, soit à nouveau par du pisé ou des briques de terre crue, ou par d'autres matériaux tels que panneaux préfabriqués, bardages isolants ou cadres de baies.

⁸ Ce procédé de préfabrication a été spécialement conçu par Martin Rauch, en 1998, alors qu'il réalisait les bâtiments de l'imprimerie Gugler, à Pielach, qui nécessita la réalisation préalable de 160 composants en pisé de 1,70 x 1,30 x 0,40 m (L x h x l), soit 208 tonnes de terre qui ont été transformée en trois mois. Le même principe a été adopté pour la construction d'un hôtel, en montagne, qui a exigé le transport par camion de tels composants préfabriqués, sur près de 400 km incluant le passage de deux cols alpins (source : conférence de Martin Rauch aux Grands Ateliers de Villefontaine, en date du jeudi 3 juin 2004).

⁹ Ces expérimentations nouvelles ont été développées aux Grands Ateliers de Villefontaine, Isère, au cours de ces deux dernières années 2004 et 2005, par le CRA Terre et les étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.

¹⁰ Dans ses *Histoires*, au 5^{ème} s. av. n.è., Hérodote rapporte de nombreux témoignages de ses voyages en Orient, Asie, Afrique et Europe.

¹¹ Vitruve (1^{er} s ap. n.è.), dans son *De Architectura* vante en effet les qualités constructives de la brique crue pourvu qu'elle soit à l'abri de l'eau.

le plus connu il n'a pourtant fait l'éloge que de la brique crue et non du pisé comme d'ailleurs d'autres auteurs fameux, tel Columelle, qui s'intéressa plus à l'aspect économique de la construction en terre qu'à en décrire précisément le genre technique¹². Par contre, Caton observa l'intérêt de construire les bâtiments de ferme en terre alors qu'il posait les grands principes d'une économie des biens de la campagne romaine et les concepts fondateurs de la villa rustique. Ceux-ci seront encore une référence pour l'aristocratie terrienne des pays d'Europe occidentale, jusqu'au 18^{ème} siècle¹³. Varron, poète et polygraphe latin, évoque le pisé dans son *Res Rusticae*¹⁴. Plus tardivement, Palladius, au 5^{ème} siècle, fit une description de clos en pisé (ou peut-être de la bauge coffrée) qu'il oppose à des clos en pierres¹⁵. A la Renaissance, le grand théoricien de l'architecture Alberti¹⁶ reprendra ce relais ainsi que d'autres traités italiens de construction des 16^{ème} et 17^{ème} siècles, tels ceux de Rusconi et Scamozzi (Font, 2003). Des auteurs arabes ibériques des 12^{ème} et 14^{ème} siècles, comme Ibn Abdun et Ibn Jaldun feront de même¹⁷. En France, le fameux ouvrage de Charles Estienne et Jean Liébaut (1564), *La Maison Rustique*, vantera la bauge, le pisé et les enduits en terre. Il fera autorité avec plusieurs rééditions successives, jusqu'au 19^{ème} siècle¹⁸. Ainsi, au 18^{ème}, des aristocrates propriétaires terriens font le choix de la terre pour

¹² Columelle, écrivain latin du 1er siècle, in "*De Re Rustica*", X, 1, 2 et XI, 3, 2. A propos d'une réserve de chasse : "si les prix de la pierre et de la main d'œuvre le permettent, le parc sera entouré d'un murs de moellons et de chaux, sinon de briques crues liées à l'argile."

¹³ Caton (234-149 av. n.è.), né à Tuseulum, in *De Agricultura*, 14,4.

¹⁴ Varron (116-27 av. n.è.), né à Reate, in *Res Rusticae*, I, 14, 40. A propos d'un mur de clôture (*maceria*) d'un domaine édifié sur le territoire sabin (*in agro sabino*), servant à protéger tout ou partie du domaine. Il cite les murs de clôture en pisé : "un mélange de terre et de graviers agglomérés dans des moules" mais également l'emploi de la brique crue (*lateribus crudis*) pour la construction de tels murs.

¹⁵ Palladius, in *Opus agriculturae*, I, 34, Traduction Les Belles Lettres, Paris, réédition en 1976. "Il existe plusieurs sortes de clôtures. Certains cultivateurs, en enfermant de la boue entre des formes, en font qui ressemblent un peu aux murs de briques. Ceux qui ont les moyens construisent des murs maçonnés avec des pierres et de la boue."

¹⁶ Alberti, L.B. (1404-1472), in "*De Re Aedificatoria*", traduction de J. Martin, Paris, 1553, pp. 48-49. Les textes d'Alberti témoignent d'un intérêt pour tous les genres de construction. Sa connaissance de la construction en terre repose bien sûr sur celle des textes latins anciens mais aussi sur une connaissance directe des pratiques de ce type de maçonnerie ornée à fresque, à son époque. "L'on pourrait voir beaucoup de murailles faites il y a longtemps par nos prédécesseurs, singulièrement bonnes et fermes, et si ne sont que de blocage simple, mais elles ont été conduites à la manière que les gens d'Afrique et d'Espagne bâtissent leurs parois de terre, à savoir par jeter la matière entre deux tables d'ais ou claies appliquées d'un côté et d'autre qui servent comme de croûtes, gardent qu'elle ne puisse couler là ou de là, jusques autant que tout soit sec. Toutefois il y a cette différence entre la muraille de blocage, et celle de hourdis, que l'une veut avoir du mortier à bauge, ou pour mieux dire à regorger, quasi tout ondoyant et l'autre, une terre tenante et grasse, laquelle étant rendue aisée à étendre et manier par l'avoir très bien ramollie et pétrie l'on l'y fait entrer à force de la pelleter et fouler aux pieds, et à coup de battoirs à aplanir : parmi laquelle, pour servir de liaison, se mettent de trois en trois pieds certains monceaux de gros repoux de pierres, et principalement d'ordinaire, ou bien des éclats assez massifs, pourvu qu'il soient angulaires ... A raison de quoi en ces murailles de terre bâties en Afrique, les ouvriers mêlent des brins de genêt ou du jonc de marine parmi leur hourdage et font des bâtiments si très forts que merveilles même non sujets à la corruption des vents et de la pluie."

¹⁷ L'historienne de l'Art Juana Font Arrellano, professeur à l'Université de Alcalá de Henares et de Valladolid, Espagne, a repéré cet apport des auteurs de traités de construction, arabes et italiens, dans une recherche établissant le plus large corpus de références historiques (op. cit., 2003). Elle a depuis lors complété cette recherche présentée lors de ces IIèmes échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue qui font l'objet d'un article présenté dans cet ouvrage.

¹⁸ In *La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne*, Tome 1er, pp. 36-38, Paris, huitième édition de 1763, op. cit. (première édition originale en 1564). Citons en des passages à propos du pisé que l'auteur dénomme de façon générale "murs de terre", en précisant que "toute sorte de terre y peut être employée excepté la terre glaise, l'argileuse et la sablonneuse". (...) "il faut préférer la plus forte, c'est à dire celle qui se lie le mieux et qui garde la forme qu'on lui a donnée en la comprimant dans la main ; un peu de gravier y fait merveille. On l'emploie un peu humide, à peu près telle qu'elle est ordinairement au-dessous de la terre." Puis, plus loin, à propos de la mise en œuvre des murs de terre : "La fondation doit être de maçonnerie jusqu'à un pied ou deux au-dessus du terrain afin de se garantir de l'humidité (environ 30 à 60 cm). Pour construire le mur, on jette la terre peu à peu dans des moules ou encaissements portatifs de planches de sapin de deux pieds et demi de hauteur (environ 81 cm) et de douze pieds de longueur (environ 4 mètres), on bat et on presse chaque couche avec des espèces de masses destinées à cet usage. Lorsqu'un moule a été rempli jusqu'en haut, on le démonte pour le remonter à côté et y construire de la même façon un autre pan de mur." Le texte porte ensuite un jugement de valeur sur les édifices construits en pisé : "On prétend que ces sortes de murs bien enduits de mortier peuvent durer plus de deux siècles, qu'on peut s'en servir pour bâtir des maisons à plusieurs étages et qu'ils sont d'une solidité presque incroyable." Plus récemment, Jean Cuisenier (1991), alors directeur du Centre d'ethnologie française et du Musée National des arts et traditions populaires de Paris, a publié une remarquable recherche intitulée « *La maison rustique : logique sociale et composition architecturale* », où il remet en lumière les apports de Charles Estienne, et d'autres humanistes de la Renaissance, sur les formes de composition caractéristique de l'architecture domestique, et bien sûr la filiation avec Caton.

édifier des maisons de villages attribuées en bail emphytéotique à leurs ouvriers agricoles. Charleval, en Provence, France (1741) et Milton Abbas, dans le Devon, Angleterre (1773), sont exemplaires du genre¹⁹. En France, le Siècle des Lumières aura ses héros de la terre qui vont influencer tous les pays d'Europe. Ils sont les premiers théoriciens de la construction en nouveau pisé, désireux de contribuer à l'amélioration des habitats ruraux encore majoritairement précaires, principalement fait de torchis et de toitures en bâtières de chaume, sujets au risque d'incendie. Liger, en 1700, décrit explicitement la technique du pisé²⁰, puis Delorme avec un mémoire écrit en 1745²¹, Diderot et d'Alembert, en 1771, dans un article intégré en supplément au volume 4 de l'Encyclopédie valorisent le pisé²². Puis, Georges-Claude Goiffon dans son *Art du Maçon Piseur* (1772), Jean-Etienne Guettard, membre de l'Académie Royale des Sciences, qui évoque longuement les maisons en pezay des cantons du Dauphiné²³ comme le fera aussi en 1789 Arthur Young, agronome britannique, lors de son troisième *Voyage en France*²⁴. Ensuite, l'Abbé Rozier avec l'architecte lyonnais François Boulard (1786), qui vont précéder François Cointeraux (1791), auteur le plus prolifique et prosélyte²⁵. Par le chenal des sociétés savantes de l'époque, son célèbre 4^{ème} *Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale* sera traduit en Italien par Giuseppe del Rosso (1793), en anglais, par l'architecte Henry Holland (1797), puis diffusé jusqu'aux Etats-Unis et en Australie²⁶, en Allemand par David Gilly (1797), fondateur de la *Bauakademie* de Berlin, puis par le philosophe Christian Ludwig Seebas (1803) à Leipzig, et en Danois par K.H. Seidelin (1796), sur la base d'une traduction suédoise de Jahan Retzius (1798). L'influence internationale de Cointeraux, qui parachève l'apport de ses prédécesseurs, est considérable. Elle pose les fondements de la construction moderne en terre dans de nombreuses contrées²⁷. Le 19^{ème} siècle aura aussi d'autres héros européens de la terre, comme Wilhelm Tappe en Allemagne (Guntzel, 1998), Juan de Villanueva (1827) en Espagne ou Alfred Zschokke en Suisse²⁸. Enfin, Jean-Baptiste Rondelet, élève de Soufflot,

¹⁹ Milton Abbas a été construit en 1773 par le Comte de Dorchester et Charleval en 1741 par le Marquis César de Cadenet (Theus, 1956).

²⁰ Liger, *L'Economie générale de la campagne*, Livre I, chapitre III, p.56, du fonds de Prudhomme (Cl.), chez Saugrain fils, à Paris, au Palais, réédition de 1755 enrichie de figures en taille-douce de Louvriot, arpenteur. Source communiquée par Dominique Chancel, architecte-historien, Services du Patrimoine Culturel de l'Isère.

²¹ Delorme, G.M. (1700-1782) a décrit pour la première fois et de façon très argumentée, la technique du pisé. Il présenta notamment un *Mémoire pour la construction des murs en terre* qu'il lut le 17 mars 1745 à l'Académie des Sciences Belles Lettres et Arts de Lyon. Ce texte est connu de la plupart des auteurs illuministes qui écriront par la suite sur la construction en terre et fut notamment repris dans son intégralité dans le *Dictionnaire d'agriculture* de l'Abbé Rozier publié en 1786.

²² Article intitulé *Pisay, pisey, pisé*, pp. 384-385 de l'édition de 1771, Paris. Citons en un passage : "On fit à Paris, il y a un siècle, des maisons moulées ; on en voit une rue de Grenelle, faubourg Saint Germain, vis à vis l'abbaye de Panthemont, que les ouvriers appelaient par dérision l'hôtel des plâtras, nom qu'il a toujours retenu et subsiste depuis 80 ans." Plus loin, "M. le curé de Varenne-Saint-Loup, près de Châlons, est très intelligent dans cette partie, et en a fait construire plusieurs maisons de son village. Il a même composé un petit ouvrage sur cette matière, qu'il m'a lu en 1769, et qui mériterait l'impression. Il vient d'être nommé curé de Givray, petite ville en Châlonnais, et s'appelle Montillot."

²³ Guettard, J.E., in *La Minéralogie du Dauphiné – Description générale et particulière de la France*. Laborde. Paris. 1782. Le texte sur les maisons en pezay a été reproduit dans le n°2 de la revue *Evocations* (avril-mai-juin 1981), pp. 57-60). Source également communiquée par Dominique Chancel, architecte-historien, Services du Patrimoine Culturel de l'Isère.

²⁴ Arthur Young, in *Voyages en France, 1787, 1788 et 1790*. Ed Sée. Paris Lib. Armand Colin. 1931. in-8°, Tome I, pp. 450-451. Young évoque des « maisons de vilain aspect » (...), « cabanes de boue laides », observées entre la Tour-du-Pin et La Verpillère, le 26 décembre 1789. On ne peut préciser s'il s'agit de maisons en pisé ou en bauge car le terme boue, traduction de l'anglais *mud*, reste générique.

²⁵ L'Abbé Rozier confie à l'architecte lyonnais François Boulard le soin de décrire la technique du pisé dans son *Cours Complet d'Agriculture* (1786). François Cointeraux n'écrira pas moins de 69 essais et pamphlets tout au long de sa vie (1740-1830) valorisant son « nouveau » pisé et de multiples inventions destinée à améliorer les conditions de vie rurales et la gestion des domaines.

²⁶ La traduction anglaise de Henry Holland a été publiée sous forme de feuilleton dans la gazette de Sydney, en 1823. Dès lors, un engouement pour le pisé allait favoriser plusieurs réalisations dont la construction du nouveau bourg colonial de Bathurst, et plusieurs projets d'habitat dans les états de *Victoria* et *New South Wales* (Cody, 1985). Ces premières réalisations, expérimentales et rudimentaires (pisé et ossature bois), faisaient vite place à des réalisations plus élaborées, inspirées des modèles français. Un certain Louis Perret également d'origine lyonnaise, contruisit une mission catholique à *Kororareka* (1841-42), Nouvelle Zélande, aujourd'hui connu comme la *Pompallier House* (Lewis, 1977 ; Cody, 1985 ; Howard, 1993 ; Guillaud, 1997).

²⁷ Plusieurs auteurs ont insisté sur cette influence exceptionnelle de Cointeraux, de son vivant (Teysot 1981, Bertagnin 1993, Guillaud 1997).

²⁸ Wilhelm Tappe (1769-1823), appuyé par la princesse Pauline, a proposé des modèles de maisons en briques de terre ou mottes de gazon en forme de coupes ogivales (Guntzel, 1998, op. cit.). Le traité de maçonnerie de Juan de Villanueva (1827) reprend des principes de construction en pisé hérités des époques arabes. Alfred Zschokke (1825-1879), s'est vu confier à l'âge de 23 ans le réaménagement de la commune de Filisbach, dans le canton d'Argovie, sinistrée par des incendies. Il a utilisé le pisé comme mode de

architecte du Panthéon, parachèvera ce lignage historique quasiment continu de valorisation du pisé avec son *Traité de l'Art de Bâtir* (1802-1817)²⁹ en lui consacrant un chapitre d'une quinzaine de pages. Cet hommage est également rendu par Louis Bouchard-Huzard avec son *Traité des Constructions rurales*, publié en 1970, qui s'inscrit dans le legs de Caton et de la Maison Rustique. Cette longue trajectoire historique littéraire a maintenu un éveil permanent sur l'intérêt de la construction en pisé. Il s'agit d'une sorte de course de relais avec passage du témoin, entre auteurs successifs, de l'Antiquité jusqu'aux 18^{ème} et 19^{ème} siècles, période où s'établissent les fondations d'une théorie et d'une science moderne de la construction en terre. Mais on doit aussi relever l'internationalisation du propos sur le pisé qui s'étend à d'autres géographies, se libère d'un européocentrisme fondé sur la référence aux cultures constructives méditerranéennes originelles et sur le legs des auteurs antiques. Dans cette amplification, les traductions et adaptations en plusieurs langues de François Cointeraux constituent certainement l'un des grands vecteurs de la modernité du pisé qui s'accomplit dans l'achèvement et l'épanouissement de la typologie des architectures vernaculaires, rurales et urbaines (Guillaud, 1997). Une typologie qui couvre un large registre de bâtiments de fermes et leurs annexes, aux plans d'une grande variété qui ont été bien repérés par la Géographie humaine (Demangeon, 1920)³⁰, et qui compte aussi de beaux ensembles de domaines et manoirs bourgeois, avec là encore un vaste ensemble d'édifices annexes en tous genres, dont les modèles de conception ont été affirmés par Cointeraux et ses traducteurs³¹. Sans omettre des typologies particulières comme celle des pigeonniers en pisé dont quelques exemples remarquables peuvent encore être observés dans le val de Saône ou en Dauphiné, mais également au Nord de la Province espagnole de Castille et León en *Tierra de Campos* (Ponga, 1994) et en Catalogne (Font et Hidalgo, 1991) ; mais aussi la typologie des mairies-écoles primaires instaurées à partir de la fin du 19^{ème} siècle sous l'impulsion de la Loi Jules Ferry avec un registre varié en Dauphiné et en Lyonnais, terres de pisé. Et encore les rares chapelles et églises à nefs de pisé³², les bâtiments d'usines et manufactures, ateliers de tissage, logements ouvriers³³, tellement nombreux en Dauphiné. Sans négliger non plus le vernaculaire urbain dont peu d'exemples visibles demeurent comme dans le quartier de Croix-Rousse à Lyon, ou dans le centre ancien de la ville de Montbrison, en Forez³⁴.

3. Le pisé, entre agonie et renaissance, de la fin du 19^{ème} siècle aux années 1970

La synthèse du ciment hydraulique, élaborée par le français Henri Vicat dès le début du 19^{ème} siècle n'aura un impact sur la construction en pisé traditionnelle qu'au-delà de 1850 (fig. 4). En France, les premiers pisés-bétons des Frères Coignet, entrepreneurs en région parisienne, seront compactés à la façon lyonnaise, au piseoir manuel, dans des bandes à pisé. L'évidence de cette évolution du pisé vers les bétons compactés à basse teneur en eau est encore visible sur le patrimoine vernaculaire du Lyonnais, du couloir rhodanien et du Dauphiné. Mais, la modernité de la terre avait pris racine et l'on a continué à bâtir avec ce matériau jusqu'avant la 2^{ème} Guerre Mondiale, dans beaucoup de pays d'Europe. Une étude récente sur le patrimoine des architectures de terre de Suède (Palmgren, 2003), couvrant la période allant de 1750 à 1950, confirme l'existence de maisons en bauge, couvrant la période de la révolution agraire (1750-1850), en *Stöphus* (terre et chaux), couvrant la période de la révolution industrielle (1850-1915), puis en pisé pour la période de la révolution sociale (1915-1950). La recherche de Lars Allan Palmgren repère une large typologie d'ouvrages de grande qualité architecturale comptant des bâtiments ruraux, des manoirs bourgeois, des bâtiments industriels et des habitats villageois ou de bourgs. En Espagne, entre 1884 et 1887, Antonio Gaudi construit l'extension de la *finca* (ferme et

construction économique, incombustible et hygiénique en construisant sept fermes en pisé qui ont été répertoriées sur un plan établi en 1850.

²⁹ Jean-Baptiste Rondelet élabore son traité entre 1802 et 1817. Dans ce chapitre consacré à la construction en terre, intitulé "Des pierres artificielles", il fera clairement référence au "Sieur François Cointeraux" comme spécialiste reconnu de ses pairs.

³⁰ Nous évoquons ici les groupes typologiques des fermes en longueur, fermes en hauteurs, fermes à cours ouvertes ou fermées.

³¹ Revoir à cet égard les superbes planches annexées à la réédition du livre de Christian Ludwig Seebas, *François Cointeraux. Die Pisé-Baukunst*, Leipzig, 1803, réédité en facsimilé en 1989.

³² Trois exemples remarquables peuvent être observés dans les villages de Viriville, Charancieu et Châtonnay, en Isère. Un inventaire plus complet devrait être réalisé sur cette architecture culte en pisé.

³³ A cet égard, les modèles de maisons de l'ouvrier proposés par Cointeraux et également par Rondelet méritent d'être particulièrement considérés. Celui de Rondelet à trois travées (avec escalier d'accès à l'étage en travée centrale) constitue également un modèle du logement moderne de ferme compacte en hauteur qui se développera à partir de la fin du 19^{ème} s. et au début du 20^{ème} s. (voir exemples Dauphinois et rhodaniens par exemple).

³⁴ Par contre les recherches archéologiques récentes menées dans le sud de la France, corroborent l'existence d'une longue tradition historique urbaine du pisé. Considérer ici les fouilles menées en Languedoc et en Roussillon, à Perpignan, en Provence, à Marseille, et dans territoires du Comtat Venaissin, à Carpentras ; se reporter à l'article de Claire-Anne de Chazelles et François Guyonnet « Patrimoine en pisé du Languedoc et de la Provence, du Moyen-Age à l'époque moderne (13^{ème}-19^{ème} s.) », publié dans cet ouvrage.

résidence secondaire) de don Eusebio Güell en *tapia real* (pisé et chaux) près de Barcelone. En Allemagne, en Prusse et Saxe, entre 1919 et 1921, le *Wohlfahrtsministerium* (Ministère des Transports) encourage la construction de 20 000 logements en terre. Pendant la 2^{ème} Guerre Mondiale, la pénurie de matériaux industrialisés pousse la Compagnie des Chemins de Fer allemands – *Reichsbahn* – à réaliser des programmes exemplaires de logements pour ses employés, des bâtiments de gares et autres baraquements. La construction de logements en terre est aussi encouragée dans les campagnes (Bardagot, 1991)³⁵. Au sortir de la guerre, les traités de Fauth (1948), de Pollack et Richter (1952) font autorité alors que des normes DIN sur la construction en terre sont publiées entre 1947 et 1956. En France, en 1941, Le Corbusier conçoit ces Maisons Murondins, en blocs de terre comprimée et en pisé³⁶. Au sortir de la Guerre, le Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme soutient à Ivry des recherches sur le béton de terre stabilisé. Dans la Somme, les fermes du Bosquel et la reconstruction de la cité des cheminots de Tergnier, projets réalisés en 1945-46 par les architectes Paul Dufournet et Jean Bossu³⁷ (Dousson, 1999) mettent en application ces recherches³⁸. Mais, face à l'ampleur de la reconstruction, la revitalisation de l'appareil industriel du bâtiment va anéantir ces perspectives nouvelles dans la plupart des pays d'Europe. Dès lors, l'effort sera porté sur les colonies d'outre-mer dans la période qui précède et suit leur indépendance. Ce sont à la fois des recherches sur les habitats traditionnels, menées par des chercheurs européens en Afrique, dans le sillon déjà creusé dès la fin du 19^{ème} siècle par l'allemand Froebenius³⁹ et des projets de développement pour lesquels la solution de la brique de latérite stabilisée est souvent préférée à celle du pisé⁴⁰. La coopération française est très active au Maghreb à partir des années 1960. En 1969, le français Alain Masson et le belge Jean Hensens, expérimentent le pisé stabilisé en coffrages intégraux et couvertures en voûtes, à Ouarzazate. Dans ces années 1960 et 70, sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur du Maroc, le CERF amplifie une production éditoriale sans précédent sur la promotion de la construction économique en terre⁴¹. En Algérie, une équipe franco-belge expérimente la construction de logements en pisé stabilisé dans le cadre du programme gouvernemental sur les villages agricoles des *wilayas* du sud (CRATerre, Doat et al., 1979)⁴².

4. Le choc pétrolier de 1973 relance le pisé et plus largement la construction en terre dans le monde.

Halte à la Croissance, le rapport du Club de Rome publié en 1972, souligne le grand danger de dégradation de

³⁵ Ces réalisations allemandes sont accompagnées de la création de centres de formation d'architectes, ingénieurs et artisans, à Posen et Sachsen qui réalisent des chantiers-formation.

³⁶ Ces projets qui devaient être réalisés dans le sud de la France n'ont finalement pas pu l'être à cause de la disparition de son client (Le Corbusier, 1942).

³⁷ Jean Bossu (1912-1983) a été au cœur de la production de l'architecture moderne. Son parcours débute à 17 ans dans l'atelier de Le Corbusier Pierre Jeanneret. Il participe en 1933 au 4^{ème} Congrès des CIAM, puis travaille chez Auguste Perret, Lurçat, Chareau, Nelson, Mallet-Stevens, Roux-Spitz. Il a été recruté par l'architecte-Urbaniste Paul Dufournet sur les projets des fermes du Bosquel et de la cité de Tergnier, où est expérimenté le béton de terre stabilisé, avant de débiter sa carrière personnelle, en 1945. Sur la fin de sa vie, Jean Bossu travaillera beaucoup en Algérie, après son indépendance. On lui doit aussi la fondation de l'Up5 (Unité Pédagogique d'Architecture de Paris La Défense), établie au Grand Palais, en 1969 (Plaquette de l'exposition Jean Bossu, réalisée en 1999 par l'Institut Français d'Architecture, l'École d'Architecture de Paris La Défense et les Archives d'Architecture du 20^{ème} siècle)

³⁸ Ces expérimentations des fermes du Bosquel ont été très démonstratives au plan technique et économique. Elles permettaient la publication, en 1945, des premiers documents techniques sur la construction en terre (DTC) en France, intégrés au Répertoire des Eléments et Ensembles Préfabriqués du Bâtiment (R.E.E.F.).

³⁹ Froebenius publiait un ouvrage sur les architectures de terre du Soudan en 1897.

⁴⁰ En 1943, le français Michel Luycks, élève de Perret, construit à Adrar, au Sahara algérien, un hôpital en briques de terre, premier ouvrage d'importance issu d'une coopération bilatérale. En Angleterre, les recherches sur la terre stabilisée du *Building Research Station* de Watford trouvent un écho auprès du *War Department* qui cherche des solutions au logement économique des régions d'Outre-mer. Un programme en *swishcrete* (latérite stabilisée), réalisé à Kumasi, Ghana, sous la direction de l'ingénieur Alcock pour les populations *Asante* à faible revenu est considéré comme exemplaire. Au Congo Belge, Ruanda et Burundi, ce ne sont pas moins de 22 235 logements et de 424 commerces et ateliers, dont des centaines en terre, qui sont réalisés entre 1952 et 1955, à Stanleyville, Elisabethville et Usumbura. Au Maroc, les actions du Centre d'Etudes et de Recherches Françaises (CERF) aboutissent en 1962 à l'opération de Daoudiat, à Marrakech, sous la direction de Alain Masson, qui compte 2 700 logements en blocs de terre stabilisés (Bardagot, op.cit.).

⁴¹ Ces publications, réalisées sous l'égide du Ministère de l'Intérieur du Maroc ont été répertoriées par le CRATerre dans un rapport intitulé *Marrakech 83, Habitat en terre*, Grenoble, 1983.

⁴² Cette équipe est composée des belges Hugo Houben et Dirk Belmans, et du Français Paul Pedrotti. Leur projet de Mostefa Ben Brahim (1972) fait date. Hugo Houben sera en 1979, l'un des membres fondateurs du CRATerre, en France.

l'environnement planétaire et de l'épuisement des ressources naturelles⁴³. L'année du choc pétrolier de 1973 est aussi celle de la publication de *Small is Beautiful* de l'économiste anglais radical Ernst Friedrich Schumacher, fondateur de ITDG⁴⁴, dès 1966, et du concept de la Technologie Appropriée ou « T.A »⁴⁵. Le monde occidental entame une profonde autocritique. Il cherche de nouvelles références dans le modèle gandhien, dans des écrits d'anthropologues valorisant *La société du don* (Marcel Mauss, 1924), d'économistes dénonçant les dérives du libéralisme (Polanyi, 1983) ou le despotisme des états (Clastres, 1974)⁴⁶. Les essais d'Ivan Illich, créateur du CIDOC de Cuernavaca, au Mexique, sont diffusés dans le monde entier, appellent à davantage d'équité, de convivialité, à moins d'école et nous invitent à libérer l'avenir⁴⁷. En Angleterre, Edouard Goldsmith fonde la revue *The Ecologist* (1969) depuis lors devenue l'une des plus grandes tribunes du *post-development*. A partir des années 70, les pays d'Europe s'engagent dans davantage de coopération active avec les pays du sud et dans une démarche environnementaliste où l'architecture de terre va consolider son rang sur l'éventail des voies alternatives possibles et viables.

5. La technique du pisé entre logique constructive (chantier) et logique architecturale (projet).

5.1 Typologie des solutions de coffrage à pisé et procédés de mise en œuvre.

L'histoire du pisé donne l'évidence d'une technique qui n'a que peu évolué pendant très longtemps. Ce n'est en effet qu'au cours de ce dernier 20^{ème} siècle que d'autres outils et procédés de mise en œuvre ont été imaginés, principalement dans les régions industrialisées, alors qu'en maints autres pays du monde la technique perduraient dans ses formes quasiment traditionnelles. Nous proposons ici une nouvelle mise à jour du savoir par rapport à des recherches antérieures (Guillaud et al., 1985) en considérant plus directement les évolutions de la technique à la lumière de son impact sur les logiques constructives, les typologies structurales et architecturales.

5.1.1. Coffrages traditionnels à progression linéaire.

Deux systèmes doivent être différenciés en ce qui concerne le maintien en place du coffrage. D'une part le coffrage, constitué de deux banches, est positionné sur des clés horizontales qui servent également à caler des potelets extérieurs de maintien et de raidissage, procédé décrit par des auteurs de référence pour l'espace européen (Cointeraux, 1791 ; Del Rosso, 1793 ; Rondelet, 1840, entre autres ; fig. 5), mais aussi pour des territoires plus lointains comme le Maroc (CRATerre-GAITerre, 1983, pp. 99-103 ; fig. 6a, b, c, d), ou la Chine (Loubes, 1988). D'autre part, le coffrage est maintenu par un système d'étais extérieurs, les potelets de raidissage étant remplacés par des poteaux en bois toute hauteur de mur, fichés dans le sol et calés par des jambes de force également en bois. Ce système a été repéré en France comme étant la méthode du Bugey (Cointeraux 1791 ; fig. 7) ou iséroise (Comte C.P. Lasteyrie du Saillant, 1802, 1820). Toutefois, le premier système demeure le plus couramment utilisé, avec quelques légères variantes régionales ou

⁴³ Ce cri d'alarme précède de 20 ans le Sommet de Rio (1992) qui va engager la plupart des nations du monde en faveur d'une planète viable autour de l'Agenda 21.

⁴⁴ *Intermediate Technology Development Group*, aujourd'hui installé à Rugby au Sud de l'Angleterre.

⁴⁵ *Intermediate Technology Development Group* sera le fer de lance du développement des technologies alternatives ou appropriées, dans les domaines de l'habitat, de l'agriculture, de l'eau et des énergies, de la santé rurale, de la formation et de la place de la femme dans le processus de développement.

⁴⁶ Avec son *Essai sur le don* (1924, 8^{ème} édition en 1999), Marcel Mauss (1872-1950), anthropologue, montre que dans les sociétés traditionnelles, les hommes sont liés par des obligations morales telles que donner, recevoir, rendre, où la valeur de ce qui est échangé n'est pas réductible à une marchandise. Dans *La grande transformation* (1983), Karl Polanyi (1886-1964) montre que dans les économies modernes, difficiles à gouverner, le risque autoritaire et despotique des états ou des pouvoirs financiers est majeur. L'économie de marché est un système autorégulateur où le gain s'est substitué à la subsistance. Pierre Clastres (1934-1977), anthropologue et ethnologue spécialiste des indiens d'Amérique, avec *La Société contre l'Etat* (1974) propose une critique pacifiste et anarchiste du pouvoir étatique : le despote, inconnu dans les sociétés tribales, est propre à l'Etat.

⁴⁷ D'origine viennoise, cet ancien jésuite a enseigné à l'Université de Puerto Rico. Son Centre Interculturel de Documentation (CIDOC) entend contribuer au développement d'une pensée critique de la société industrielle. Son livre *Une Société sans Ecole* (1971) est une critique radicale du système libéral qui consolide son pouvoir dans les pays démunis par une formation de cadres locaux devenant étrangers à leurs propres difficultés et à leurs peuples. Aujourd'hui, les analyses d'Illich reviennent en force pour orienter les voies d'un post-développement.

locales⁴⁸. Parfois une solution mixte a pu être adoptée avec la mise en place d'un linéaire de coffrage en bois plus long posé à la fois sur des clés horizontales et étayé par des jambes de force extérieures, comme ce fut le cas sur le chantier des fermes du Bosquel en 1945-46 (Dufournet, 1950, p. 14) ou sur le chantier de l'îlot I de O. Perreau-Hamburger et J.M. Savignat, au Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, 1983-85 (fig. 8). Mais, pour toutes ces solutions de coffrages, le procédé de mise en œuvre du pisé décrit une progression linéaire horizontale par tours successifs de banchées. Les évolutions récentes de l'outillage traditionnel en bois, que ce soit pour une amélioration de la manutention des banches en réduisant la hauteur du coffrage comme l'ont fait les constructeurs allemands lors de la reconstruction suivant la 2^{ème} Guerre Mondiale (Toni Miller et al., 1947, pp. 38-45 ; fig. 9a, b), ou les bâtisseurs australiens (G.F. Middleton, 1953, rééd., 1975), ou par d'autres procédés de boisage des coffrages, tel l'assemblage de planches verticales par des sections de chevrons horizontales clouées en parement extérieur (maison de l'agriculteur Rolland à Saint-Siméon de Bressieux, Drôme, 1981-82, ou chantier du charpentier Guinet à Dolomieu, Isère, 1984), que ce soit la conception de banches en contreplaqué marine (chantier J.C. d'Orazio et P. Casalonga de Pigna en Corse, 1981-82), ou que ce soit l'emploi d'autres matériaux comme l'acier avec les banches du chantier de l'îlot C de S. Jauré du Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, 1983-85 (fig. 10), ou même encore des solutions mixtes à banches en contreplaqué et systèmes de portiques en tubes métalliques (chantiers de l'entreprise Terre et Soleil, J. Gumbau, à Saint Victor de Morestel, Isère, et à Ceyreste, Bouches-du-Rhône, 1984 – 1985 ; chantier Rexcoop à Aït Ourir, Maroc, 1983-84), n'ont pas remis en question ce principe de progression linéaire horizontale de la maçonnerie en pisé (Guillaud et al., 1985, op. cit.⁴⁹).

5.1.2. Coffrages à progression verticale.

Le procédé de mise en œuvre du pisé par système de coffrage en progression verticale, ou coffrage grim pant, est également traditionnel bien que moins courant. Il a été repéré en Chine par des références iconographiques anciennes (Loubes, 1988, op. cit., pp. 44-46, d'après Needham, J. 1956, fig. 11), observations corroborées par des photographies plus récentes de Jean-Paul Loubes (fig. 12) et de André Stevens⁵⁰. Le système de coffrage consiste en deux portiques de perches de bois servant de support et de guide pour la progression du coffrage par glissement du bas vers le haut. Le coffrage est couramment constitué de quatre fûts de bois empilés qui sont calés en l'une des extrémités du dispositif, entre l'un des deux portiques et la partie de mur venant d'être réalisée, et en l'autre extrémité, en appui contre l'autre portique qui permet de caler la porte de banche verticale, toute hauteur de mur. Les fûts du coffrage sont ligaturés devant ce portique et cette porte par des cordelettes tendues. Ce procédé est généralement utilisé pour la construction de murs de clos alors que les maçonneries des murs porteurs des habitations en pisé sont élevées avec des coffrages traditionnels à

⁴⁸ Ces banches traditionnelles sont formées de l'assemblage de planches horizontales jointées bout à bout et maintenues par des traverses verticales clouées. La longueur des banches varie entre 2 à 3 mètres et leur hauteur entre 80 à 90 cm, cela correspondant à une portabilité et une maniabilité optimales. En complément, ce coffrage comporte des clés en bois horizontales supportant les banches, posées sur le soubassement puis sur les tours de banchées précédemment réalisées, des petits bois calés entre les banches en partie haute du coffrage dimensionnant l'épaisseur du mur de pisé, des potelets extérieurs raidissant le coffrage pour contenir la pression du damage, reliés en leur sommet par des cordages tendus, et des portes de banches déterminant la longueur de la banchée. L'outil de compactage est une dame ou un pisoir, soit un manche en bois lesté d'une masse de bois. Cet outil présente aussi des formes et un poids variables et l'on connaît par exemple des dames à deux manches courts (Pérou, Argentine). Ce système de coffrage traditionnel a été encore utilisé dans des réalisations récentes, en France, notamment par des autoconstructeurs, tels le charpentier Huguet, à Corbelin dans l'Isère en 1971-72, ou encore par l'agriculteur Rolland, à Saint-Siméon-de-Bressieux dans la Drôme et par le ferblantier Moretti, à Lumio en Corse, dans les années 1981-82 (Guillaud et al. 1985). Dans des formes récentes, ce coffrage traditionnel a pu être réduit en hauteur de banche, jusqu'à 40/45 cm, avec une solution de fixation par portiques en bois remplaçant le système à clés horizontales et potelets verticaux en bois ; cela afin d'améliorer encore la maniabilité (Toni Miller et al., 1947 ; G.F. Middleton, 1952). Une autre évolution récente a consisté à tester des banches métalliques ou des systèmes mixtes en panneaux de contreplaqué et système de mise en place et de raidissage en métal, voire en poutrelles d'aluminium : chantier du Domaine de la Terre de Villefontaine, 1983-85 ; chantier Rexcoop de Aït Ourir au Maroc, 1985, par exemple. Mais cette évolution n'a pas apporté d'innovations significatives permettant d'être retenues par les entrepreneurs.

⁴⁹ Cette recherche établissait un bilan actualisé des savoir-faire du pisé en 1985. Pour ce dernier paragraphe, se reporter aux pages suivantes : pp. 157-161 ; 105-137 ; 122-123 ; 167-168 ; 138-147 ; 318-324.

⁵⁰ Pierre Clément est enseignant à l'École d'Architecture de Paris-Belleville et directeur scientifique de l'Ipraus, Institut parisien de recherche : architecture, urbanistique, société (UMR CNRS MCC 7136). Les recherches de Pierre Clément ont porté sur les sociétés, l'architecture et les villes asiatiques, dont la Chine. Il a observé la technique chinoise du pisé dans la région de Xian. André Stevens, architecte belge, consultant de l'Unesco, a également documenté cette technique lors d'un voyage d'étude réalisé au Xian, à Turfan et au Fujian en 1981 (Guillaud et al., 1985, *ibid.*, pp. 244-254). Il en a restitué des éléments dans le volume 2 des actes du colloque international *Earth Construction Technologies Appropriate To Developing Countries* qui s'est tenu à Bruxelles, les 11-12 décembre 1984 (Stevens, 1983). Notons aussi le magnifique n° 3 de la revue *Mimar*, 1982, avec un dossier entièrement dévolu à l'architecture chinoise où la culture du pisé tient une très belle place (Oubo et Afshar 1982).

progression linéaire, du type de ceux que l'on a précédemment décrit. Des adaptations récentes ont été imaginées par des bâtisseurs nord américains (Miller, 1980, pp. 31-36)⁵¹. Elles exploitent également le principe des portes de coffrage toute hauteur de mur qui servent de support et de guide pour une progression verticale des banches. Celles-ci sont généralement conçues en panneaux de contreplaqué raidis par des chevrons horizontaux et des potelets qui sont maintenus par des tiges d'acier filetées avec rondelles et écrous. Au cours des années 1980, les piseurs australiens ont développé ce même principe de coffrage mais en métal⁵²(fig. 13). La mise à niveau des coffrages est calée sur la porte de banche verticale à l'aide d'une jambe de force réglable par des boulons vérins. Dans les années 1970, au Brésil, l'association des cimentiers de São Paulo développe un procédé de construction économique en voiles mince de pisé stabilisé. Le coffrage grim pant est métallique, de faible hauteur (environ 40 cm) et progresse en appui contre des colonnes en béton armé d'égale épaisseur que les murs (MEC/SG/CEDATE, 1988, op. cit.). Le dispositif chinois traditionnel comme les adaptations récentes permettent de réaliser des pans de mur verticaux, indépendants et auto stables. Leur longueur varie entre 2 à 2,50 m et leur hauteur peut aller jusqu'à 4 mètres pour les murs de clos. Ces pans de murs sont soit mis bout à bout pour constituer des parois de plus grande longueur, soit constituent des éléments de larges trumeaux indépendants, reliés ensuite entre eux par des solutions de colonnes et chaînages⁵³.

5.1.3. Coffrages intégraux.

Le principe du coffrage intégral répond à une logique d'optimisation économique de la maçonnerie de pisé même s'il exige une installation plus lourde que peut compenser la moindre mobilisation de main d'œuvre dans la phase d'exécution du pisé, le chantier étant souvent mécanisé dans ses formes d'exécution récentes (collecte, acheminement et déchargement de la terre, par exemple). On a repéré un tel dispositif de coffrage intégral en bois maintenu en place par des portiques toute hauteur de niveau d'étage sur un dessin ancien attribué à un colon d'origine allemande ayant vécu en Argentine (non daté). Une annotation manuscrite précise que ce dessin montre « comment on réalise les bâtiments en terre battue ». Les banches sont en bois et progressent verticalement le long des portiques en bois. Dans ce cas, du fait d'un procédé évolué de la tradition, la mobilisation de plusieurs équipes de compactage, en ouvrage simultané, reste toutefois importante. Les adaptations modernes de ce principe ont proposé un moulage direct et en forme des voiles de pisé avec des coffrages intégraux en métal. C'est le cas du projet pilote réalisé en 1969 à Ouarzazate, au Maroc, par l'ingénieur français Alain Masson et l'architecte belge Jean Hensens (Hensens 1970 ; Guillaud et al, 1985, *ibid.*, pp. 311-317). Aux Etats-Unis, en 1981, nous avons observé un chantier de l'entreprise Schmidt *Builders* (St. David, Arizona) qui utilisait un procédé de coffrage intégral en panneaux de contreplaqué et armature métallique (fig. 14). En France, en 1983, sur un chantier d'habitation réalisé à Dolomieu, Isère, l'entreprise Terre et Soleil de Jacques Gumbau expérimente le principe du coffrage intégral en éléments standards de panneaux CTBX marine et armature en aluminium, assemblés entre eux par boulonnage et maintenus en place par des profils raidisseurs toute hauteur d'étage, également en aluminium. L'expérimentation n'est pas très concluante mais ouvre une voie que prendront d'autres entreprises avec l'opération du Domaine de la Terre de Villefontaine qui débute cette même année 1983. Sur l'îlot F conçu par les architectes Gilles Perraudin et Françoise Jourda, mis en œuvre par l'entreprise Guy Buet, sont utilisés des coffrages intégraux métalliques de type béton. Une adaptation australienne que nous avons observée sur un chantier réalisé à Wanabee (Melbourne) en 1988, imaginée par l'entreprise Terraco Ltd, a proposé des coffrages intégraux en aluminium (fig. 15). Si le principe du coffrage intégral a été généralement associé à la mise en œuvre de murs de pisé au tracé rectiligne, voire orthogonal (voiles en « L » ou en « U »), les évolutions récentes décrivent une nouvelle tendance. L'idée de mouler en forme des voiles courbes, en utilisant des coffrages intégraux progressant verticalement ou toute hauteur de paroi a été inaugurée avec la construction des cages d'escalier de l'îlot B conçu par l'architecte bressan Jean-Vincent Berlottier, sur le Domaine de la Terre de Villefontaine (fig. 16a, b). Ce coffrage courbe en bois met en application les principes utilisés pour le béton avec un boisage adapté à la forme, sur le chantier. Plus récemment, en 1997, l'architecte Philippe Rabier (Anglet, Pyrénées-Atlantiques) a construit sa propre maison qui expose un très beau mur de forme elliptique (fig. 17). Avec les conseils de Bruno Pignal, de « Pisé, Terre d'Avenir », l'entreprise Faure BTP de Bayonne a utilisé un coffrage intégral assez sophistiqué, en panneaux tripli et ossature en métal (Dugelay et al., 2003). Avec la

⁵¹ David Miller est un avocat installé à Greeley, Colorado, U.S.A. Il a construit sa première maison en pisé en 1946 puis a été un fervent promoteur de la technique jusque dans les années 1980 à partir de son *Rammed Earth International Institute* où il organisait des formations pour les bâtisseurs. On lui doit aussi la première bibliographie internationale sélective sur le pisé, éditée en 1982.

⁵² C'est le cas de l'entreprise RAMTEC, de Stephen Dobson, localisée à Perth en Western Australia, et de l'entreprise Terrastone-CEAC de l'architecte David Oliver, à Buderim dans le Queensland.

⁵³ Ce système constructif a été développé par David Easton (*Rammed Earth Works*), en Californie, au début des années 1980. L'une de ses premières réalisations, la Maison Menzel a fait l'objet de publications dans des revues, en 1982 (*Rodale's New Shelter*, mai-juin 1982 ; *Fine Home Building*, n° 11, octobre-novembre 1982. Voir aussi pour cela CRATerre, Guillaud et al, 1985, *ibid.*, pp. 354-361).

construction de la Chapelle de la Réconciliation, à Berlin, en 1999, l'entrepreneur autrichien Martin Rauch a pleinement développé ce principe du moulage intégral en forme en développant un dispositif associant le boisage du coffrage *in situ* et le maintien par des portiques raidisseurs toute hauteur de voile (Rauch, 2001, pp. 82-93).

5.1.4. Coffrage spéciaux ou moules à pisé.

Certaines situations de mise en œuvre de parties d'ouvrages en pisé posant des problèmes spécifiques ont conduit les bâtisseurs à imaginer des coffrages spéciaux. C'est le cas pour la construction des angles de murs ou des liaisons structurales entre murs extérieurs gouttereaux et murs intérieurs de refend afin de solutionner le cas de figure classique de l'épaulement orthogonal par tours de banchées successifs. Ainsi, en Australie, G.F. Middleton imaginait en 1952 un coffrage en « L » et un coffrage en « T » pour répondre à ces situations, coffrages que nous avons pu observer, en 1988 au *National Building Technology Centre* (NBTC) de Chastwood, à Sydney (Middleton, 1953, *ibid.*, pp. 20 ; Schneider, 1987). Il imaginait aussi un coffrage d'inspiration traditionnelle, à progression horizontale linéaire, formant une sorte de moule rigide, doté de portiques et muni d'un rouleau – le *roller-supported formwork* – pouvant être aisément soulevé et poussé en avant sur le soubassement puis sur les tours de banchée précédemment réalisés (Middleton, 1953, *ibid.*, pp. 22-23, p. 31 et 1^{ère} planche photographique). Toujours en Australie, l'entreprise Terraco Ltd de Melbourne, que l'on a déjà évoquée, a mis au point des moules en aluminium permettant le moulage en forme d'éléments spéciaux en croix. En 1978, dans le cadre d'une recherche ciblée sur la construction en pisé parasismique et en application expérimentale au Guatemala, Gernot Minke, de l'Université Polytechnique de Kassel (GHK), Allemagne, construisait un prototype à l'aide d'un moule coffrage métallique en forme de « T » (fig. 18) permettant par glissement vertical d'ériger des pilastres nervurés auto stables, armés de bambous verticaux et reliés en leur sommet par une poutre chaînage en bois rond (Minke, 2000, 2001). D'autres moules spéciaux ont été conçus pour bâtir des colonnes en pisé, en planches de bois renforcées et de forme hexagonale, comme l'imaginaient les jeunes étudiants grenoblois de l'ADETEN – futurs fondateurs de CRATerre - en 1976, sur le chantier de Vigneux en Isère (CRATerre, Doat et al., 1979, *op. cit.*) ; ou plus récemment en métal par l'architecte Serge Maïni, fondateur du *Auroville Earth Institute*, en Inde, pour dresser des fûts de colonnes cylindriques. Ces moules permettent de bâtir des sections successives de fûts de colonnes, par déplacement vertical, le décoffrage étant facilité par un dispositif d'ouverture du moule.

5.1.5. Le pisé préfabriqué.

Une révolution technologique du pisé a récemment accompagné l'exigence de productivité des chantiers et de contrôle de qualité de la mise en œuvre du matériau en application du principe de préfabrication d'éléments de banchées ou d'éléments modulaire de murs. En France, en 1986-87, le bâtisseur Nicolas Meunier a imaginé un système de construction en blocs de pisé préfabriqués (b.p.p.). Les blocs sont damés sur le chantier, en coffrage fixé sur un support métallique conçu comme une échelle à barreaux rapprochés, posée sur une plaque de contreplaqué et sur le sol plane. Une fois le bloc de pisé compacté, les joues du coffrage sont déposées, l'échelle support est reliée à un palonnier, légèrement soulevée, la plaque de contreplaqué en sous face est retirée. Puis le palonnier, reliée à une grue peut soulever le bloc préfabriqué de pisé et le déposer délicatement sur son assise (fig. 19). Les barreaux de l'échelle support sont alors retirés et le bloc se met en place doucement (Meunier, 1987, pp. 41-45). Un chantier d'immeuble d'habitation a été réalisé en application de ce procédé, en plein cœur de la ville de Montbrison, Loire, dans les années 1990. En Autriche, Martin Rauch a pleinement développé ce principe de préfabrication de voiles en pisé préfabriqué, à la fois pour la réalisation de partitions intérieures non porteuses en développement libre, ou pour la réalisation de voiles porteurs aux dimensions modulaires mis en place par empilement. Les éléments sont préfabriqués en atelier, intègrent des gaines pour les réseaux, des systèmes de chauffage. Ils sont transportés par camion sur les sites des chantiers, saisis par un système de griffes et de courroies de maintien, levés par un palan et une grue, puis déposés (Rauch, 2001, *op. cit.*, pp. 124-142). Que de chemin parcouru depuis les pisés antiques !

5.2. L'évolution vers les pisés béton, la pression de la norme et le risque d'éradication des cultures constructives du pisé.

Pour compléter cette évocation de l'évolution de la technique du pisé, il convient de mentionner la tendance récente vers les pisés stabilisés au ciment. Cette tendance a été accompagnée d'une évolution sémantique, dès lors que la technique du pisé et son outillage traditionnel étaient mis au service du développement des premiers bétons modernes. Comme on le notait en introduction, les Frères Coignet, entrepreneurs parisiens, adoptaient la terminologie de pisé béton pour leurs premières réalisations en béton. Cette nouvelle terminologie prolonge celle qui était adoptée pour désigner les pisés de

mâchefer⁵⁴ et correspond clairement à un procédé de mise en œuvre qui s'opère encore par compactage du matériau à teneur en eau humide, quoique différent puisque ne s'agissant pas de terre seule, dans des coffrages à pisé de forme traditionnelle et en progression linéaire. Une recherche antérieure a étudié cette phase d'évolution technologique en analysant notamment le patrimoine en pisé de la ville de Lyon (AA.VV., 1983)⁵⁵. Puis, au 20^{ème} siècle, dans l'entre deux guerres mondiales, les recherches menées en Allemagne dans les années 1920, et par la suite aux États-Unis et au Brésil, sur la stabilisation des terres pour les travaux d'infrastructure routière, à base de chaux puis de ciment Portland (Houben, Guillaud et al. 1983, p. 58), vont contribuer à l'apparition, en décalage, des premiers bétons de terre. Ce sont les premières expérimentations de maisons en béton de terre stabilisée au ciment déversé à la pompe à béton, développées à Pétopolis, au Brésil, en 1943, puis celles réalisées au domaine présidentiel de la Forêt des Planteurs, à Zéralda, en Algérie (CRATerre, Doat et al., 1979, *ibid.*, p.91). Ces tentatives ont été peu probantes du fait d'une grande difficulté à maîtriser le retrait du matériau, exigeant un rebouchage de nombreuses fissures *a posteriori* et après plusieurs mois de cure de séchage. L'évolution technologique s'est donc maintenue dans le registre du pisé stabilisé au ciment mis en œuvre dans des coffrages intégraux, tel que l'ont proposé les projets de Paul Dufournet et Jean Bossu, avec les fermes du Bosquel en Picardie, en 1945-46, de Alain Masson et Jean Hensens, à Ouarzazate, Maroc, en 1968, ou celui du village agricole de Mostefa Ben Brahim, en Algérie, réalisé par Houben, Belmans et Pedrotti, en 1973 (CRATerre, Doat et al., 1979, *ibid.*, pp. 82-90). C'est cette forme d'évolution de la technique qui a dominé dans de très nombreuses réalisations architecturales de ces 40 dernières années, notamment en Australie et aux États-Unis où la stabilisation au ciment, face à la pression de la norme, est présentée comme une garantie pour l'obtention d'une meilleure capacité de résistance mécanique en compression et de résistance à l'érosion de surface du pisé. La texture de ces pisés stabilisés, souvent à un taux de ciment relativement élevé (+ de 10%), est à rapprocher de celle des bétons maigres, bruts de décoffrage, bien que la finition du parement soit plus lisse, du fait de l'emploi de coffrages à panneaux de particules ou en contreplaqué marine qui ont été substitués aux coffrages traditionnels en boisage de planches. Dans la logique des pisés béton, une autre tendance d'évolution débouche sur les pisés béton projetés à haute pression, comme l'a développé récemment l'entreprise *Rammed Earth Works* de David Easton, en Californie. Les réalisations restent encore confidentielles mais traduisent une profonde mutation de la culture constructive du pisé en voie de « bétonnage ». Bien plus perverse est l'application déviante de la norme béton aux ouvrages en pisé, comme on a pu tout récemment l'observer dans la vallée présaharienne du Draa, au Maroc⁵⁶. Sur les chantiers périphériques de Zagora, ville encore toute de pisé il y a à peine 20 ans, désormais majoritairement construite en béton et agglomérés de ciment, le pisé reste encore employé pour la réalisation d'habitations de plain-pied ou à un étage. Mais, des poteaux en béton armé - destinés à supporter de lourdes dalles en béton qui ont été substituées aux planchers traditionnels en bois, faux-plafonds en *tataoui*, terre et *dess* de chaux (Boussalh et al., 2005, pp. 51-57)⁵⁷ - sont insérés dans les murs de pisé, en saignées réalisées *a posteriori*. Ces poteaux sont hélas mal enrobés, mal fondés, non reliés entre eux par des semelles, mal connectés aux chaînages des dalles et au lieu de renforcer la structure, la fragilisent considérablement, notamment face au risque sismique. L'emploi du *leuh* traditionnel, encore très économique, est le plus souvent restreint à la réalisation du clos du terrain. Nous avons là l'évidence d'une perte dramatique de culture où la dimension métaphorique du béton moderne, solide et riche, s'oppose victorieusement à l'image de désuétude, de fragilité et de pauvreté du pisé. Sont-ce là les signes annonciateurs d'un processus irrémédiable de perte de culture ?

⁵⁴ Il s'agit d'une nouvelle forme de béton constitué d'un mélange de cendres et scories avec de la chaux grasse, issue de la production métallurgique abondamment distribué par voie ferroviaire, qui a été largement utilisé à la fin du 19^{ème} siècle et jusqu'au début du 20^{ème} siècle, notamment dans la vallée du Rhône et la vallée du Giers.

⁵⁵ Il s'agit d'une recherche collective intitulée *Architecture de terre. François Cointeraux 1740-1830*, produite en 1983. Dans ce corpus d'articles et à ce propos, la contribution de Anne-Sophie Clemençon et de Dominique Bertin, de l'Institut d'Histoire de l'Art de Lyon et chercheurs au CNRS, intitulée *L'architecture en terre, un mode de construction urbain*, est tout à fait éloquente (Clemençon et Bertin, 1983, pp. 63-65).

⁵⁶ Nous nous sommes rendus à Zagora en mai 2005 pour observer les évolutions des pratiques constructives en *leuh* (pisé) par les *maâlems* locaux, dans le cadre d'un projet visant à proposer des recommandations pour une construction parasismique en matériaux traditionnels, à la suite du séisme de Al-Hoceima de février 2004. Ce projet est piloté par le Ministère de l'Équipement et des Transports du Maroc. Il associe l'École Hassania des Travaux Publics (EHTP) et le Laboratoire Public d'Études et d'Essais (LPEE) de Casablanca, l'École Nationale d'Architecture de Rabat (ENA) et CRATerre-ENSAG.

⁵⁷ La poutraison traditionnelle était faite de stipes de palmier ou de bois ronds d'eucalyptus, dans le meilleur des cas en bois de cèdre (Moyen-Atlas), puis recouvertes d'un faux-plafond à motifs géométriques en petits bois ronds (*tataoui*), parfois peints sur lequel reposait une natte de feuilles de palmier tressées, puis d'une couche de terre à pisé damée, et d'une couche de terre sableuse et de chaux badigeonnée de chaux (*dess*).

5.3. *Le pisé entre système constructif, structure, espace et forme : procédés de mise en œuvre, logiques constructives et architecturales.*

Dans l'une de nos précédentes publications (Guillaud et al., 1987, pp. 26-34), nous avons défini une typologie constructive du pisé avec ses déclinaisons en types de structures, espaces et formes architecturales qui reste toujours pertinente (fig. 20a, b, c, d). Les tendances d'évolution récentes de la conception des projets ne la remettent pas fondamentalement en question mais permettent de la préciser. Aussi la rappelons-nous brièvement, avec quelques amendements, afin d'éclairer la suite de notre propos sur les évolutions contemporaines de l'architecture de pisé.

5.3.1. *Le pisé en composants de structure formant une enveloppe monolithique.*

Il s'agit de la forme la plus fréquente déclinée dans les réalisations d'architecture vernaculaire de maints pays où domine la culture constructive traditionnelle du pisé. Les composants de la structure, ou murs, sont réalisés à partir de la progression linéaire horizontale d'une banche aux dimensions modulaires, en assises successives, à partir d'un angle du bâtiment et retour à ce point de départ. Cette structure en murs monolithiques décrit des volumes simples, généralement des parallélépipèdes de forme carré à rectangle pouvant accepter des variantes trapézoïdales rectangles plus ou moins régulières. Elle constitue également une enveloppe qui cerne l'espace pouvant être sous divisée par un, voire deux ou trois murs de refend, selon la longueur des corps de bâtiment. Les espaces du plan sont la plupart du temps de dimension assez réduite pour leur affectation à usage d'habitation du fait des portées courtes des planchers supportés par des bois courts de faible section, voire stipes de palmiers (tradition présaharienne, au Maroc et en Algérie), ou planchers à solives (un peu plus longues, soit 4 à 5 mètres) dans la tradition dauphinoise et forezienne, en France, posées en petites travées resserrées (40 à 60 cm). Dans la tradition française, les bâtiments annexes peuvent présenter de plus grands volumes, en cas d'affectation en étables ou granges assez vastes, l'espace étant libéré par des fermes de charpente de grande portée à entrails simples, voire entrails retroussés moisant les arbalétriers, avec blochets. Les murs intérieurs de pisé peuvent porter des planchers intermédiaires. On observe aussi des poteaux de forte section supportant les longs entrails de charpente et entre lesquels sont bâties des cloisons libres, en poteaux de bois et galandage de torchis, qui peuvent diviser l'espace en plusieurs nefs (granges cisterciennes du nord de l'Isère). D'autres concepteurs ont pu proposer l'association de ce principe de structure et d'enveloppe monolithique traditionnel avec un traitement de l'espace en plan libre, insérant des solutions de structures de planchers indépendants, contreventés, en ossature bois ou acier, telle la maison atelier de l'architecte Alexandre Bastos au Portugal (AA.VV., Portugal, 2005). Les percements ménagés dans ces murs, pour les baies, portes et fenêtres, sont réalisés dans la masse des murs, en prévoyant la pose des linteaux dans la phase de réalisation du gros œuvre en pisé et en ménageant immédiatement le percement qui est doté d'un précadre massif en bois posé en parement extérieur ; ou en perçant la baie par la suite et en dressant le tableau de maçonnerie en pierres de taille, de briques ou de pierres factices (béton de ciment prompt dans la tradition iséroise). Les couvertures de ces bâtiments en enveloppe monolithique acceptent des toitures plates en terrasses (tradition maghrébine), voire en voûtes surbaissées (tradition catalane), ou des toitures à charpentes traditionnelles (à 2 pans et pignons, en pavillon à 4 pentes, ou autres solutions à croupes et fausses croupes). L'évolution récente de mise en œuvre de blocs de pisé préfabriqué (entreprise Meunier), ne modifie pas fondamentalement ces principes de structure, d'espace et de forme. Par contre l'utilisation de coffrages intégraux de forme elliptique amène de nouvelles variantes spatiales et formelles, telles la maison de Philippe Rabier à Anglet, Pyrénées-Atlantiques, France (Dugelay, 2003, op. cit.), ou la Chapelle de la Réconciliation de Martin Rauch à Berlin, Allemagne (Rauch, 2001, op. cit.).

5.3.2. *Le pisé en composants de structure auto stables à redans et contreforts.*

Il s'agit d'une forme récente de mise en œuvre des structures en pisé qui correspond plus logiquement à l'emploi de coffrages intégraux ou de coffrages grimpants, donc à progression verticale. Cette logique constructive permet la réalisation de composants de structure, ou murs, en forme de voiles dont la stabilité est assurée par la forme même du mur, soit des voiles porteurs en « U », en « L », ou en « T », les ailes, redans ou retours assurant cette auto stabilité. Toutefois, l'utilisation d'un coffrage traditionnel à progression linéaire horizontale et la réalisation de tels types de voiles par assises successives de banchées, reste possible bien qu'assez rarement observée⁵⁸. Ce principe de structure décrit aussi des volumes simples en forme de blocs indépendants, généralement parallélépipédiques, qui résultent de la correspondance des voiles en « U », « L » ou « T » ménageant des vides verticaux entre eux, relativement étroits. Les espaces sont à la fois contenus par l'enveloppe monolithique partielle de ces voiles de pisé et cernés par les frontières virtuelles de ces vides étroits, alignées sur les parements extérieurs. La forme des bâtiments peut résulter de la

⁵⁸ Des maisons réalisées par G.F. Middleton, ou par Julius Jorgensen sur le site de la communauté d'artistes de Montsalvat, à Eltham, périphérie des Melbourne, Victoria, en Australie, dans les années 1950, semblent avoir adopté ce principe constructif (Middleton, 1953, *ibid.*, cahier central de photographies).

juxtaposition de plusieurs blocs indépendants. Des chaînages relient les voiles entre eux, constituent des assises périphériques pour des solutions classiques de planchers à solives, ou pour des dalles en poutrelles et hourdis, ou en béton, dont les portées restent assez courtes. Les baies occupent généralement l'espace vertical des vides ménagés entre les voiles auto stables et sont constituées de bâtis indépendants. Ces vides peuvent être aussi remplis par des allèges ou des parois pleines, réalisées en maçonnerie indépendantes de pisé ou de briques, en bardages bois ou métalliques, qui intègrent ou non des baies de dimension plus réduite que celle de la surface du vide initial. Les toitures de ce second type de structures peuvent être à convenance, plates, voûtées, ou à charpentes en bois traditionnelles ou contemporaines en treillis (fig. 21 ; fig. 22). L'un des projets emblématiques de ce type, réalisé ces dernières années, est celui conçu par les architectes Gilles Perraudin et Françoise Jourda, mis en œuvre par l'entreprise Guy Buet, sur l'îlot F du Domaine de la Terre de Villefontaine (fig. 23).

5.3.3. *Le pisé en trumeaux constituant un remplissage d'ossature, ou des portions de l'enveloppe périphérique en voiles non juxtaposées.*

Ce troisième type de structure en portions de murs indépendants est ancien. La construction punique en *opus africanum*, telle qu'on peut encore l'observer sur le quartier des métallurgistes, à Byrsa (Tunis), datant du 2^{ème} siècle av. n.è., avec ses piliers en maçonnerie de pierre ou de briques cuites remplis de voiles en pisé ou en adobes, en est une illustration antique (ce procédé est aussi une réponse parasismique). Le procédé chinois de réalisation de clos en pisé par succession de trumeaux, observé dans la région de Xian, bien que ces murs soient seulement juxtaposés sans piliers entre eux, en est une autre forme. Egalement le procédé de construction en *machones y verdugadas* (Font, 2005, p.10), d'origine arabo musulmane et encore couramment utilisé au 19^{ème} siècle, constituant une ossature de briques cuites, remplie de voiles en pisé, couramment observé en Espagne. La version récente de ce principe est illustrée par les projets du constructeur nord américain David Easton (années 1980) qui réalise ces voiles trumeaux avec des coffrages en bois intégraux, ceux-ci étant par suite reliés par des colonnes et des chaînages en béton armé. Les baies sont soit ménagées dans les voiles en pisé, de facture traditionnelle, soit occupent des vides étroits ménagés entre les voiles successifs, peuvent être aussi dressées sur des allèges en pisé. L'espace est alors cerné par ces murs trumeaux juxtaposés et reliés par l'ossature, et ces baies. Le concepteur contemporain s'est affranchi de ces systèmes ossature remplissage où les trumeaux sont très rapprochés, où les baies sont étroites, grâce à l'association d'autres matériaux. Les portions de murs en pisé peuvent alors être séparées de façon très marquée, être disposées en côtés et/ou angles opposés, ou encore en alignements pointillés parallèles, et être séparées par de très larges vides qui constituent des limites spatiales. Ce mode de composition architecturale a été proposé par des architectes aussi célèbres que Mies Van Der Rohe. Les ressources du plan sont libérées par une grande fluidité, en travaillant sur les limites spatiales et en articulant ces voiles auto stables - constituant des parties d'enveloppe monolithique - et les vides dont les limites sont cernées par des transparences en larges baies vitrées. Cette fluidité est amplifiée par l'utilisation d'éléments de franchissement de grande portée tels que poutres ou fermes à treillis en bois ou métal, poutres en bois lamellé-collé. Ces principes de composition spatiale sont largement réinterprétés aux Etats-Unis, déclinés par les projets récents de Rick Joy ou de Jones Studio, en Arizona, ou en Australie par Troppo. Une autre évolution plus récente de ce principe de construction en voiles verticaux et larges vides est décrite par l'empilement vertical d'éléments de murs en pisé modulaires, comme l'a proposé l'autrichien Martin Rauch sur ses réalisations de l'imprimerie Gugler, à Pielach, Autriche (1998-99), projet des architectes viennois Herbert Ablinger, Vedral & Partner, et de l'entrepôt de la Fondation Hoffman à Basel en Suisse (1999-2000), projet des architectes suisses Herzog et De Meuron (fig. 24 ; fig. 25).

6. Bilan des évolutions contemporaines des architectures de pisé en quelques pays phares : France, Portugal, Allemagne, Autriche, Australie, Etats-Unis.

En France, l'exposition *Des architectures de terre*, présentée au Centre Pompidou, à Paris, en 1981, propose l'alternative terre pour garantir l'accès à l'habitat aux plus démunis dans le Tiers Monde, et pour un habitat moins consommateur d'énergie dans les pays du nord. Sur sa lancée, en 1983, le projet du Domaine de la Terre, à Villefontaine, confirme une démonstration économique et énergétique⁵⁹ (Grezes et al. 1984). Pour autant, en matière de pisé, cette réalisation ne marque pas une véritable évolution des techniques et des règles de composition architecturale. En effet, les principes de coffrages traditionnels sont utilisés, avec une tendance pour quelques entreprises à tester des solutions métalliques plutôt que tout bois. Seul le projet conçu par les architectes Gilles Perraudin et Françoise Jourda, exploitera la solution de coffrages intégraux dérivés du béton. Le principe du mur porteur central en « T » et des murs latéraux en

⁵⁹ Cette opération de 65 logement sociaux confirme des coûts d'opération situés dans une fourchette de -30% à + 20% des coûts HLM de l'époque. Les bilans énergétiques de chauffage pour les meilleurs projets confirment une économie allant jusqu'à 50% (source OPAC 38, maître d'ouvrage de l'opération). Pour une information plus complète sur ce projet, se reporter à la plaquette

« L » influence la conception de la structure et la forme du bâtiment, donne une expression architecturale nouvelle pour un projet en pisé d'inspiration post moderne. Le Domaine de la Terre reste néanmoins emblématique du renouveau contemporain des architectures de terre et va encourager plusieurs pays dont le Maroc qui entreprend un projet à Marrakech dans le cadre d'une opération de coopération bilatérale avec la France et son programme Rexcoop⁶⁰ (fig. 26). Sur le territoire français, les années 1980 et 90 voient la naissance de nombreuses associations et l'engagement de professionnels, d'entreprises⁶¹, qui déploient des actions régionales de promotion de la terre et contribuent à la réalisation de nouveaux projets en pisé⁶² (fig. 27 ; fig. 28). Mais, un constat doit être fait. Si la France a été à l'avant-garde dès la fin des années 1970 et occupe toujours une position avancée sur le renouveau contemporain des architectures de terre, un décalage semble aujourd'hui exister avec d'autres pays qui montrent davantage d'innovation technologique et d'expression architecturale renouvelée.

Au cours de ces quinze dernières années, *le Portugal*⁶³ a confirmé l'engagement d'architectes et d'entreprises dans la démarche de renouveau du pisé. Dès le début des années 1990, Teresa Beirão et Alexandre Bastos (fig. 29 ; fig. 30) mettent le pied à l'étrier avec la construction de leur propre maison et réaliseront plusieurs autres projets de maisons privées, entre 1994 et 1997, dans le voisinage de leur municipalité de Odemira, Alentejo (à São Luís, São Teotónio), sur le rivage de l'Atlantique (à Vila Nova de Milfontes), et une rénovation d'un bâtiment paroissial à Cercal, municipalité de Santiago do Cacém. D'autres architectes suivent la même démarche comme José Brito, Graça Jalles ou Henrique Schreck (fig. 31 ; fig. 32), toujours à Odemira et à Aljezur. Cette nouvelle architecture de pisé portugaise, bien que n'affirmant pas une véritable révolution technologique, ouvre la voie d'un renouvellement, cherchant à s'établir entre une ancienne culture constructive et architecturale et la contemporanéité. Cela est particulièrement visible sur les projets d'habitations de Alexandre Bastos où le pisé brut cohabite avec des éléments de structure en béton (piliers et colonnes, acrotères), de belles charpentes en bois, et des enduits blancs qui évoque aussi la culture du chaulage typiquement portugaise⁶⁴. Dans l'ensemble, cette nouvelle architecture de pisé portugaise donne la priorité à l'expression visible du pisé, en intérieur comme en extérieur (fig. 33).

En Allemagne, depuis la fin des années 1970, les recherches et expérimentations de l'ingénieur Gernot Minke, professeur au GHK de l'Université de Kassel, ouvrent la voie de nouvelles recherches et expérimentations sur la construction en terre, dont le pisé. Ses prototypes traduisent son ancrage dans une démarche écologique mais également

⁶⁰ Programme interministériel de Recherches Expérimentales en Coopération. Les opérations de Hay al-Massira (blocs de terre stabilisé) et de Aït Ourir (pisé) dynamiseront de nombreux colloques et séminaires nationaux et internationaux. Au même moment, l'architecte Elie Mouyal entame son parcours d'excellence avec ses réalisations de villas luxueuses dans la palmeraie de Marrakech, créant une nouvelle architecture de terre marocaine enracinée dans la culture arabo-méditerranéenne revisitée, dans ce contexte de production post-moderne.

⁶¹ Parmi ces associations et entreprises localisées en diverses régions du territoire, citons *Pisé, Terre d'avenir* (Rhône-Alpes, Auvergne et Midi-Pyrénées), l'entreprise Meunier (Auvergne), *Inventerre* et *Architerre* (Midi-Pyrénées), *Panterre* et *Globetroterre* (Bretagne), *AKterre*, et tout récemment *Caracol* (Rhône-Alpes).

⁶² Relevons ici les projets des architectes de *Pisé, Terre d'Avenir*, (Jacky Jeannet, Pascal Scarato et Bruno Pignal) bien que plus actifs à l'origine dans le domaine de la restauration et de la réhabilitation du patrimoine mais comptant quelques réalisations nouvelles. Notons aussi les projets de l'agriculteur Alain Bozier, dans le Poitou, qui construit des gîtes ruraux, les réalisations de logements sociaux (OPAC 35) en Bretagne, à Romillé, par l'architecte rennais Dominique Urien. Dans l'ensemble, ces réalisations n'amènent pas une évolution remarquable des techniques de construction en pisé traditionnelles, ni de nouvelles logiques de conception structurale et architecturale. Par contre, les réalisations de l'entrepreneur forézien Nicolas Meunier, qui expérimente sa solution innovante de blocs de pisé préfabriqués sur chantier puis levés à la grue et déposés tels un système rappelant le principe du jeu Lego, ouvrent des voies techniques nouvelles. La maison Carducci, établie dans les Monts du Forez, est un autre projet remarquable de Meunier qui tout en conservant une expression architecturale traditionnelle, s'en extrait par l'affirmation de voiles haut et opaques en pisé percés de vides toute hauteur où viennent se loger des systèmes de baies et bardages en bois. Association réussie de la masse et de la légèreté (Oliva et al., 2004, pp. 124-127).

⁶³ Ce pays a créé en 2003 une association nationale pour la valorisation de l'architecture de terre, *l'Associação Centro da terra*, une association à but scientifique, culturel et professionnel souscrivant à l'objectif du développement durable et se donnant pour mission de promouvoir l'architecture de terre au Portugal. Cette association a réussi à publier un magnifique livre réunissant les contributions de 54 auteurs (AA.VV., 2005, op. cit). Depuis 1993 et jusqu'à ce jour on ne compte pas moins de 25 événements (séminaires, conférences, expositions organisées autour de la terre au Portugal.

⁶⁴ Cf. *Arquitectura de Terra em Portugal*, 2005, ibid., pp. 154-172.

originale⁶⁵. Avec sa revue *Bauen mit Lehm*, éditée entre 1984 et 1987, Minke tient le haut du pavé et tire en avant un mouvement qui va prendre une ampleur nationale. Un nouvel essor est pris avec la création du *Dachverband Lehm e V* (DVL)⁶⁶, en 1992. Dès lors le DVL organise chaque année depuis 1996 des dialogues thématiques sur la construction en terre rassemblant universitaires et professionnels. Deux sommets d'experts organisés à Kassel, en 1997, aboutissent en 1999 à la publication de la *Lehmbau Regeln*. Sans être une norme, cette réglementation vient combler le vide laissé par le retrait des normes DIN allemandes sur la construction en terre publiées après guerre et retirées en 1970. Le DVL est aussi à l'initiative de l'organisation de grandes conférences et foires internationales, sous l'intitulé de *Lehm*, depuis 1994. L'Allemagne a su développer un large tissu d'entreprises qui dynamisent de façon très pragmatique un marché des ventes de produits et éléments pour la restauration des patrimoines et une architecture contemporaine en terre⁶⁷. En 1999, les architectes Reitermann et Sassenroth, s'associent à l'entrepreneur autrichien Martin Rauch, pour édifier en pisé la Chapelle de la Réconciliation des deux Allemagnes réunies après la chute du Mur de Berlin, projet phare d'une renaissance architecturale contemporaine s'établissant sur une haute valeur symbolique de la mémoire collective allemande et européenne. Cet édifice a été particulièrement remarqué avec son plan à deux murs ovales imbriqués où l'association contrastée de la masse du pisé avec la transparence d'une peau extérieure en bardage de bois ajouré, inscrit le projet dans une véritable contemporanéité. Avec les réalisations de Martin Rauch, constructeur en pisé à qui l'on doit des réalisations contemporaines de qualité remarquable (Rauch, 2001, *ibid.*) l'Autriche est aujourd'hui regardée comme l'un des pays à l'avant-garde de la nouvelle architecture de pisé européenne dont l'origine et l'ancrage peuvent être situés dans un mouvement en faveur du renouveau des savoir-faire artisanaux et de leur valorisation créative qui ont pris naissance dans le Vorarlberg. Le pisé de Rauch s'inscrit dans un courant d'architecture que certains théoriciens ont qualifié de brutaliste, désignant en cela la mise en valeur de la matière et du matériau à leur état brut. Ce beau pisé expose délibérément les richesses d'expression de la matière, sa texture, ses couleurs, et constitue le support de diverses expressions plastiques de traitement de surface par impression, incrustation, incision, autant d'approches de nature sculpturale ou pittoresque. Jouant sur le voisinage de la variété du matériau brut qu'il met en œuvre sous forme de pisé, sur la diversité de la taille des grains et de la teinte de matériaux naturels choisis sur une large palette, soulignant les couches successives, Martin Rauch donne à voir un pisé qui est un véritable chant de la terre. Nous sommes, avec Rauch, dans l'expression formelle d'une grande tradition de l'*opus formarium* élevée au rang de l'Art. Ses réalisations les plus remarquables, situées en Autriche, Allemagne, Angleterre, Italie et Suisse, comptent des maisons privées dessinées par des architectes fameux tels Schneider et Schumacher ou encore Herzog et de Meuron, des équipements industriels, hospitaliers ou religieux. On lui doit aussi des projets de parcs et jardins conçus par le paysagiste Kienast Vogt déclinant ce charme du matériau dans tous ses états jubilatoires. Mais Rauch reste aussi un inventeur technique de génie avec son procédé d'éléments de murs préfabriqués en atelier.

En Australie, au-delà des influences de Cointeraux au 19^{ème} siècle, on retrouve un intérêt pour le pisé, toujours en Victoria, promues par G.F. Middleton (1953). Suivant cet exemple, un anglais, John Harcourt, qui vit dans la communauté d'artistes d'Eltham, près de Melbourne, construit sa résidence en pisé. Harcourt inaugure de nouveaux procédés de construction en pisé qui alternent les murs trumeaux auto stables et les vides verticaux occupés par les baies, avec allèges et impostes à ossatures et bardages en bois. Mais, au-delà de ces faits de pionniers, la nouvelle architecture de pisé australienne voit véritablement le jour dans les années 1980 autour de deux pôles cardinaux éloignés d'est en ouest. L'un dans le *Queensland*, à Buderim et Brisbane, et l'autre en *Western Australia*, autour de Perth. Ce sont les projets de maisons privées, logements collectifs, chais viticoles, collèges et hôtels de David Oliver (fig. 34 ; fig. 35), architecte et entrepreneur (*Terrastone/CEAC*), et les nombreuses villas de Stephen Dobson (fig. 36 ; fig. 37), entreprise *Ramtec*. Dans ces régions tropicales et subtropicales, l'architecture à larges toitures débordantes, à coursives ou vérandas extérieures, vient protéger le pisé de l'impact des pluies, permettant la mise en valeur de ses grains, de ses couleurs, sans le dissimuler sous des enduits. Dans les plus belles villas, le matériau des murs massifs reste apparent en façade intérieure, parfois ciré, miroitant sous les apports de lumière de larges baies ouvertes sur une

⁶⁵ Gernot Minke expérimente des solutions constructives en sacs de coton remplis de terre, en boudins de terre argileuse extrudée empilés à l'état plastique pour façonner des parois aux formes plastiques, des recherches sur la stabilisation avec des produits naturels tels que cellulose, caséine, jus de plantes. Il met au point un procédé de compactage du pisé par plaque vibrante auto tractée alimentée par énergie électrique.

⁶⁶ Il s'agit d'un réseau d'universitaires et de professionnels poursuivant l'objectif de la promotion de la construction en terre dans le pays en connexion avec d'autres réseaux internationaux. L'ingénieur professeur Horst Schroeder, de l'université du *Bauhaus* de Weimar et Peter Breidenbach, fondateur de l'entreprise Claytec (à Viersen) qui diffuse des composants de construction en terre préfabriqués en sont à l'origine avec d'autres personnalités actives.

⁶⁷ Déjà en 1998, le *Dachverband Lehm* repérait près de 1000 entreprises et artisans qui réalisaient un chiffre d'affaire de 15 millions de DM.

végétation tropicale généreuse, ou sur les bleus changeant du ciel et de l’océan. Star de l’architecture contemporaine australienne, Glenn Murcutt s’est associé à Adrian Welke et Phil Harris (groupe Troppo de Darwin⁶⁸), chantres d’une nouvelle architecture tropicale jouant avec les éléments (pluie, chaleur humide, brise), et avec le paysage, réinterprétant les références d’habitat aborigène, pour concevoir en 1992-94, le superbe projet du *Bowali Visitors Information Centre*, promu par l’Agence Nationale Australienne pour la Conservation de la Nature (ANCA) et situé dans le Parc National de *Kakadu*. Cette association de talents a conçu un édifice totalement intégré dans un site de savane, proposant de nouvelles limites subtiles entre l’intérieur et l’extérieur, des transitions entre la chaleur plombée et la fraîcheur ombragée activant par convection naturelle un léger zéphyr. La circulation linéaire le long d’un *deck* ou d’une large véranda, sous une voûte au galbe souple en onduline d’acier galvanisé, parfois translucide, donne à voir des murs en pisé.

Aux Etats-Unis, la construction en pisé a été introduite par les immigrants européens s’installant en Nouvelle Angleterre, soit dans les Etats de New South Wales, New Jersey, New York et de Pennsylvanie. L’influence de la traduction anglaise du 4^{ème} *Cahier d’Ecole d’Architecture Rurale* de François Cointeraux, par Henry Holland, a été notoire (Guillaud, 1997, op. cit.). Mais, l’intérêt pour le pisé perdra de sa vitalité avec l’impact des travaux de Joseph Aspidin, homologue du grenoblois Henri Vicat, et promoteur du ciment Portland, puis avec la période troublée de la Guerre de Sécession entre les Etats du Nord et du Sud (1861-1865). Il faudra attendre plus d’un siècle pour que les vertus du pisé soient redécouvertes, dans les années 1970. Un avocat du Colorado, David Miller, fréquentant les bibliothèques lors d’un voyage en Russie, lut un ouvrage décrivant le matériau et le procédé de construction. De retour aux Etats-Unis, il expérimente le pisé, construit sa maison, et devient un promoteur zélé de la technique. C’est à partir de ce Grand Sud Ouest, que le pisé va renaître, au sud de l’Arizona, avec les premières réalisations d’habitat de l’entreprise Schmidt *Builders*, à Saint David, et celles de David Easton, en Californie. Ces projets valorisent un procédé mécanisé de compactage de la terre, au fouloir pneumatique, en coffrage intégral ou en coffrage grim pant pour la construction de murs trumeaux auto stables. Ces premiers habitats sont modestes puis font place, à partir des années 1980, à une architecture plus élaborée issue de la commande d’une population plus aisée. Les projets les plus récents de David Easton et Cynthia Wright (entreprise *Rammed Earth Works*), dans la vallée viticole de Napa, à l’est de Los Angeles, renouvellent la dialectique entre structure, espace et forme, en valorisant l’utilisation du pisé en murs porteurs pour la seule enveloppe extérieure, alors qu’il est uniquement utilisé en partition libre de l’espace habité. L’inertie du pisé épais (60 cm) contribue à une régulation thermique dans cette région au climat estival chaud. La texture brute du pisé se marie au miroitement des sols en grosses dalles de terre cuite cirées. Les cloisons épaisses de pisé ne s’élèvent qu’à faible hauteur, ouvrant au regard altier toute la mesure de l’espace sous des fermes de charpente en bois traditionnelles. Le pisé économique a été particulièrement valorisé par les recherches et projets de Samuel Mockbee⁶⁹, avec les étudiants en architecture de *Rural Studio*, à l’Université d’Auburn, Alabama, Comté de Hale. Aux Etats-Unis, où beaucoup d’attention est donnée aux grands projets urbains et à l’architecture de type néo-classique, voire néo-palatiale clinquante des classes aisées, la démarche de *Rural Studio* propose une réponse architecturale alternative pour les plus démunis. Cette architecture associe le pisé à des matériaux de récupération de toute nature (composants en acier, verre, plastique, caoutchouc, bois), à d’autres techniques peu coûteuses comme le béton cyclopéen, dans une démarche de conception/chantier proposée aux étudiants comme cheminement éducatif⁷⁰. Une démarche qui associe la participation active des usagers, vise une économie maximale, tout en libérant une grande créativité de nature instinctive. Mockbee reconnaît dans cette « architecture de la décence » authentiquement durable, « un modernisme contemporain enraciné dans la culture du Sud » (Oppenheimer et Hursley, 2002, 2^{ème} de couverture). Une culture vernaculaire contemporaine qui a donné d’excellents projets, tels le Centre de la Communauté de Mason’s Bend (2000), également utilisé comme chapelle, où le pisé, développé en forme linéaire basse, porte une simple nef en petites poutres de lamellé collé et tubes d’acier, couverte de plaques d’aluminium et d’écailles de verre.

L’architecture en pisé de Rick Joy⁷¹ doit être aussi évoquée. Elle traduit à l’évidence une fascination respectueuse pour l’environnement à la fois dur et beau du désert de Soñora (région de Tucson, Arizona), et un engagement volontaire dans un processus de conception qui coopère avec le chantier. Cet engagement se démarque fortement d’une approche intellectualisée, conceptualisée et formalisée de l’exécution des ouvrages qui a contribué à délimiter une distance entre

⁶⁸ Se reporter à Goad, Philip, *Pesaro Architectural monographs*, Troppo, ed. Pesaro Publishing, Balmain, NSW, Australie, 1993, 96 p., pp. 58-63

⁶⁹ Samuel Mockbee est considéré comme l’un des enseignants en architecture les plus charismatiques qui ait existé aux Etats-Unis et dont l’influence ne cesse de s’étendre au niveau international auprès des jeunes générations d’étudiants.

⁷⁰ Dans cette « école de la communauté » (Oppenheimer et Hursley, 2005, p.8), ces projets sont en fait des diplômés d’étudiants en architecture qui répondent à la demande sociale des plus démunis de cette région du Comté de Hale en Alabama.

⁷¹ Cf. Rick Joy et al., 2002, *Desert Works*.

les architectes et les constructeurs, entre les cultures du projet et celles des entreprises. Ces architectures du Désert, rayonnent d'une imagination intuitive qui unie l'esprit à la matière. Véritable spiritualisation, célébration du pisé, de ses textures et couleurs sculptées par la course ambiante du soleil. Comme l'a suggéré Steven Holl, critique d'architecture, Rick Joy « donne de l'épaisseur à la lumière » (op. cit., p. 7). Tout est sobre, économe et à sa juste place dans ces superbes réalisations que sont les studios de Convent Avenue (1995-97), à Tucson, ou la *Catalina House* (1997-98), la *Tubac House* et la *Tucson Mountain House* (2000-01), délicatement et presque mystérieusement posées dans leur environnement de sable et de flore arbustive d'épineux et de cactus candélabres. Les œuvres magnifiques d'un musicien et d'un charpentier devenu architecte orchestrant l'élévation d'autres harmonies de la matière et de l'esprit empreintes d'humilité et de respect du paysage du Désert de Soñora (fig. 38 ; fig. 39). Outre ces superbes projets de Joy, il faut aussi remarquer quelques projets de Jones Studio (Grayson Trulove et al, 2004, pp. 146-153), également en Arizona, qui valorisent avec force et grande lisibilité l'expression de voiles en pisé cernant des limites spatiales tout en les projetant sur l'extérieur dans le paysage environnant. La composition architecturale affirme l'évidence linéaire et massive des voiles en pisé qui constituent les limites fluides d'un espace occupé par d'autres blocs édifiés en structures plus légères (bois, métal et verre). Une architecture jouant avec excellence des limites matérielles et virtuelles de l'espace, qui amplifie les ressources du plan, entre le bâti, la masse et l'opacité des structures porteuses en « béton de terre », la légèreté et la transparence des surfaces vitrées donnant sur le jardin et sur le paysage (fig. 40).

7 –Les ouvertures de la recherche fondamentale : du pisé aux nouveaux bétons de terre écologiques.

Les récentes recherches fondamentales sur la terre, appréhendée comme une matière en grains qui ont été développées ces dernières années au laboratoire CRATerre, en liaison avec l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris (Anger et Fontaine, 2005), sur les propriétés de cohésion de la fraction argileuse et sur les comportements de la matière associant ses trois phases gazeuse (air), liquide (eau) et solide (minéral), démontrent que l'eau joue un rôle essentiel à la fois dans la définition du registre des matériaux à base de terre, mais surtout en tant que stabilisant. En quantité insuffisante d'eau, à l'état sec, la terre est pulvérulente et n'offre pas assez de cohésion, comme en présence de trop d'eau, à l'état liquide où elle s'effondre, coule. Le contrôle de la quantité d'eau et des effets de pont capillaire⁷² entre les plaquettes d'argile, entre les argiles et les autres grains minéraux (silts, sables, graviers), sont la clé d'une cohésion indispensable pour que le matériau terre puisse être utilisé comme matériau de construction, sous forme de pisé comme d'autres procédés utilisés par les bâtisseurs en terre depuis des millénaires, torchis, bauge ou brique crue. La mise en évidence des formes d'empilement des grains de la matière terre, tel l'empilement apollonien, et les recherches sur de nouvelles formes d'empilement plus optimal ou empilement espacé, qui sont menées par l'industrie du béton, sont à même de découvrir de nouvelles propriétés et comportements mécaniques de la matière terre dès lors que les propriétés colloïdales de la fraction fine argileuse liante qui s'immisce entre les grains, seront mieux connues. Or, on a d'ores et déjà observé par application à la terre de pisé de la formule théorique proposée par l'industrie du béton que l'empilement des grains dans ce type de terre se rapproche de cet empilement espacé⁷³. C'est là un véritable cadeau de la nature⁷⁴ ! L'étude du comportement d'écoulement de la matière terre, à partir de l'observation de l'angle d'avalanche et de l'angle de repos des sables (30°), comme l'observation des principes de ségrégation des grains de différente taille entre eux, permet de mieux cerner les principes de poussée de la matière et de transmission des efforts sous sa propre charge, lorsque celle-ci est déversée ou coulée dans un coffrage. Ces recherches s'ouvrent désormais sur la mise au point de nouveaux matériaux de construction à base de terre, dérivés du pisé, employant la même qualité de terre brute, qui sont déjà expérimentés, associés à des recherches sur prototypes de structures innovantes, aux Grands Ateliers de Villefontaine. Ainsi sont développés de nouveaux systèmes constructifs en ossature bois et remplissage en béton de terre et copeaux bois (Chabanne et Court, 2004), ou en béton de terre et granulats, coulés en coffrages léger de roseaux (Le Tiec, 2005 ; Wilke, 2005 ; fig. 41). Et d'autres procédés qui utilisent la terre brute ou en béton de terre et granulats à

⁷² Il existe une tension superficielle et une cohésion dès lors que les grains sont en présence d'eau, même minimale, par le truchement d'un pont capillaire qui exerce une attraction entre les grains (Anger et Fontaine 2005, op. cit., pp.26-27)

⁷³ en effet la terre a pisé offre ce type d'empilement espacé des grains, à l'état naturel mais pas dans le bon ordre correspondant aux formules théoriques établies par les industriels du ciment. Dans les bétons on a remplacé les grains fins de silt et d'argile, considéré comme « récalcitrants », par de la fumée de silice. Pour élaborer les futures bétons de terre, il faudra être en mesure de mieux calibrer et homogénéiser ce mélange naturel des grains que constitue la terre à pisé. L'une des hypothèses qui est formulée est quela pourrait demander de travailler sur le couple dispersion et remise en ordre des grains.

⁷⁴ Ces données nous ont été communiquées par Hugo Houben, chercheur au laboratoire CRATerre-ENSAG qui pilote la recherche fondamentale « Grains de bâtisseurs » en lien avec l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle (Henri Van Damme, physicien) et les ingénieurs Romain Anger et Laetitia Fontaine.

l'état plastique et à cohésion contrôlée, versés en vrac dans des parois formant coffrage et enveloppe de nouvelles formes « d'habitat léger »⁷⁵ (Porte, 2005). Ce sont les nouveaux bétons écologiques de demain que d'autres recherches fondamentales plus avancées sur la matière colloïdale et l'empilement optimisé des grains, que l'on évoquait en amont, permettront d'inventer. Ces nouveaux matériaux révolutionneront les modes de construction en terre millénaires.

8 - Conclusion : l'avenir du pisé, bien que menacé, semble encore ouvert.

Face aux exigences actuelles de qualité environnementale comme architecturale, face aux performances techniques et économiques des matériaux et techniques de construction contemporains industrialisés, dans un contexte où l'économique et le quantitatif, le normatif et le sécuritaire, affirment leur domination, le pisé traditionnel, par ses propriétés constructives et écologiques remarquables, comme par ses caractères propres (texture, couleur), bien que sa performance économique à la mise en oeuvre puisse être discutée, conserve des atouts exceptionnels. Le choix qualitatif, face à ces critères dominants, restera un argument décisif. Toutefois, la préservation et la transmission future de la culture constructive du pisé ne peuvent être envisageables sans évolution, sans adaptation à ces nouveaux critères. Un compromis doit être imaginé, qui ne soit pas une corruption, ni une perversion de la culture, comme on l'observait précédemment sur le terrain marocain et sans doute ailleurs dans le monde. Il s'agit de réinventer, de recréer cette culture millénaire. Ainsi, les architectes et les constructeurs sont invités à moins de radicalisme et d'orthodoxie dans les formes d'emploi du pisé, à bannir toute forme de nostalgie, de régionalisme ou de folklorisme en associant nécessairement le pisé aux autres matériaux et composants de construction disponibles sur le marché de la construction. Mais, plus encore, ils sont invités à déployer une nouvelle intelligence constructive et architecturale du projet, ce que démontre déjà les réalisations les plus récentes de Samuel Mockbee et *Rural Studio* ou de Rick Joy et Jones Studio aux Etats-Unis, de Troppo et autres architectes australiens, ou de Martin Rauch, en Autriche. Ces démonstrations sont exemplaires et inspirent déjà de jeunes architectes qui pensent tout autrement le rapport entre le dessin et le chantier, entre le matériau, la construction et l'architecture, qui prennent leur distance avec la dictature orgueilleuse et arrogante du béton, de l'acier et du verre, avec la banalisation d'une architecture de style international. Mais plus encore, des concepteurs éclairants qui donnent enfin la juste place du pisé dans l'expression architecturale contemporaine. L'espérance du pisé recréé est aussi espérance de diversité culturelle préservée, espérance de contribution véritable à un développement durable pour l'humanité qui a fort besoin de garantir la transmission de la mémoire de ses savoir-faire mis enfin en trajectoire d'évolution.

Bibliographie

- AA.VV. 1983 (France) :** Cellauro, (L.) et Richaud, (G.), Bertin, (D.), Clemençon, (A.S.), Guillaud, (H.), Duboisberranger, (F.), Doat, (P.), De Loitière, (F.) – *Architecture de terre. François Cointeraux 1740-1830*. Rapport de recherche, Secrétariat de la Recherche Architecturale, Ed. AGRA-UPAG, Grenoble, France, 1983, 620 p.
- AA.VV. 1988 (Brésil) :** MEC/SG/CEDATE, *Taipa em painéis modulados. Sistemas constructivos*. 2^{ème} édition actualisée. Dam/Fundação de desenvolvimento das aplicações de madeiras no Brasil/Centro de desenvolvimento e apoio técnico à educação. Brasília, Brésil, 1988, 59 p.
- AA.VV. 2005 (Portugal) :** *Arquitectura de Terra em Portugal / Earth Architecture in Portugal*. Ed. Argumentum, Lisbonne, 2005, 300 p.
- Alberti 1553 :** Alberti, (L.B.) – *De Re Aedificatoria*. Trad. Martin, (J.), Paris, France, 1553.
- Anger et Fontaine 2005 :** Anger, (R.), Fontaine, (L.) – *Grains de bâtisseurs*. Ed. CRATerre-EAG, Villefontaine, décembre 2005, 36 p.
- Bardagot 1991 :** Bardagot, (A.M.), et Doat, (P.), Houben, (H.), Guillaud, (H.), Odul, (P.) – *L'intelligence de l'Europe et le développement de l'habitat économique en terre des années 20 à nos jours*. Rapport de recherche, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Département des Sciences de l'Homme et de la Société. Ed. CRATerre-EAG, Grenoble, France, 1991. 89 p.
- Bazzana 1993 :** Bazzana, (A.) – *La construction en terre dans al-Andalus : le Tabiya*. In : *Comunicações, 7^a Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra*. Editions de la D.G.E.M.N., Lisbonne, Portugal, 1993, 659 p, pp. 76-82.

⁷⁵ Ce concept « d'habitat léger » entend répondre à des critères d'économie d'énergie en production, construction et maintenance, tout en offrant un meilleur impact sur l'environnement par la réalisation de structures faciles et rapide à monter, et démontables.

- Bazzana 1996** : Bazzana, (A.) – *La terre, un matériau millénaire dans les pays du pourtour méditerranéen*. In : *Méditerranée* n° 8/9. *Arquitectura de Terra*. Ed. Instituto Mediterrânico. Universidade Nova de Lisbonne. Portugal. 1996. 309 p. pp. 41-88.
- Bertagnin 1993**: Bertagnin, (M.) – *Il Pisé e la Regola Manualistica Settecentesca per l'Architettura in Terra. Reedizione critica del manuale di Giuseppe Del Rosso*. EdilStampa, Rome, 1993, 107 p.
- Bertagnin 1999** : Bertagnin, (M.) – *Architettura di terra in Italia*. EDICOM, Edizioni. Montfalcone, Italia, 1999, 315 p.
- Bertin et Cléménçon 1983** : Bertin, (D.), Cléménçon, (A.S.) - *L'architecture en terre, un mode de construction urbain*. In recherche *Architecture de Terre, François Cointeraux 1740-1830*. Rapport de recherche, Secrétariat de la Recherche Architecturale, Ed. AGRA-UPAG, Grenoble, France, 1983.
- Bouchard-Huzard 1870** : Bouchard - Huzard, (L.) - *Traité des constructions rurales et de leurs dispositions*. Imprimerie et Librairie d'Agriculture et d'Horticulture de Mme Ve Bouchard-Huzard, 2 vol. ,Paris, France; 1870.
- Boussalh et al. 2005** : Boussalh, (M.), Jlok, (M.), Guillaud, (H.), Moriset, (S.), CERKAS, UNESCO et CRATerre – *Manuel de Conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc*. Ed. du Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, Bureau de l'UNESCO à Rabat, Maroc. 2005. 72 p.
- Caton 3^{ème}- 2^{ème} s. av. n.è.** : Caton - *De Agricultura*.
- Chabanne et Court 2004** : Chabanne, (J.), Court, (J.) – *Apprendre à déconstruire pour mieux construire ; du global au local, expérimentations d'une démarche constructive*. T.p.f.e. Ecole d'Architecture de Grenoble, septembre 2004, 87 p.
- Clastres 1974** : Clastres, (P.) - *La Société contre l'Etat*. Ed. de Minuit, Paris, France, 1974.
- Cody 1985** : Cody, (J. W.) – *Earthen wall construction in the Eastern United States*. Master of Arts, Graduate School of Cornwell University, Etats-Unis d'Amérique, Juin 1985, 460 p.
- Cointeraux 1791** : Cointeraux, (F.) – *Ecole d'architecture rurale ; quatrième cahier dans lequel on traite du nouveau pisé inventé par l'auteur, de la construction en terre et de ses outils*. Paris, France, 1791, 68 p.
- Columelle 1^{er} s.** : Columelle – *De Re Rustica*.
- Correia 2000** : Correia, (M.) – *Le pisé d'Alentejo, Portugal*. Mémoire DPEA-Terre, EAGrenoble, France, 2000, 167 p.
- CRATerre 1979** : Doat, (P.), Hayes, (A.), Houben, (H.), Matuk, (S.), Vitoux, (F.) – *Construire en terre*. Editions Alternatives et Parallèles, Paris, France, 1979 (réactualisé en 1983 et 1985).
- CRATerre et GAITerre 1983** : Doat, (P.), Guillaud, (H.), Houben, (H.), Laraki, (M.), Kergreiss, (M.), Hmami, (J.), Boulali, (M.), Kabbaj, (A.), Latifi, (A.M.) – *Marrakech 83, Habitat en Terre. Aide à la conception architecturale*. Ed. CRATerre, Grenoble, France, 1983, 233 p.
- CRATerre 1989** : Houben, (H.), Guillaud, (H.) – *Traité de construction en terre*. Editions Parenthèses, Marseille, France, 1989, 355 p.
- Delorme 1745** : Delorme, (G.M.) – *Mémoire pour la construction des murs en terre*. Lyon, France, 1745.
- Del Rosso 1793** : Del Rosso, (G.) – *Dell'economica costruzione delle case di terra*. Imp. J.A. Bouchard, Florence, Italie. 1793. 75 p.
- Demangeon 1920** : Demangeon, (A.) - *L'habitation rurale en France*. Géographie Universelle. Annales de Géographie, Tome VI., XXIX, pp. 352-375. Editions Armand Colin, Paris, France, 1920.
- De Villanueva 1827** : De Villanueva, (J.) – *El arte de la Albañileria*. Ed. en facsimile. Madrid. España. 1827.
- Diderot et D'Allembert 1771** : Diderot, (D.), D'Allembert – *Pisay, pisey, pisé*. Article, in l'Encyclopédie, supplément au volume 4, pp. 384-385, Paris, 1771.
- Dousson 1999** : Dousson, (X.) – *Jean Bossu architecte (1912-1983) exposition-1999*. Plaquette d'exposition. Ed. Ecole d'Architecture de Paris-la-Défense et Institut Français d'Architecture, Paris, France, 1999, 12 p.
- Dousson 1999** : Dousson, (X.) – *Jean Bossu (1912-1983)*. In revue *Colonnes* n°14, Institut Français d'Architecture et Archives d'Architecture du XXe Siècle, Paris, France, décembre 1999, 29 p., pp. 14-29.
- Dufournet 1950** : Dufournet, (P.) Une expérience de construction en béton de terre stabilisé. In : *Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, cahier 81, Paris, France, 2^{ème} trimestre 1950, pp. 7-23.
- Dugelay et al. 2003** : Dugelay, (S.), Cabeza, (A.), Pignal, (B.), Rabier, (Ph.) - *Maison particulière à Anglet avec mur en pisé à double courbure*. Monographie du réseau Ecobâtir, Juin 2003, 4 p.
- Dunzhen 1980** : Dunzhen, (L.) – *La maison chinoise*. Editions Berger-Levrault, Paris, France, 1980, 234 p.
- Estienne et Liébaut 1564 et 1763** : Estienne, (Ch.), Liébaut, (J.) – *La maison rustique ou l'économie générale de tous les biens de la campagne*. 2 vol, Paris, France, 1564 et 1763 (8^{ème} rééd.).
- Fauth 1948**: Fauth, (W.) - *Der praktische Lehmbau*. Singen-Hohentwiel, Weber, Allemagne, 1948.
- Font 2003** : Font, (J.) - *La construcción con tierra en los textos históricos*. Manuscrit en espagnol, éd. par l'auteur, Palencia, Espagne, 2003, 26 p.
- Font 2005** : Font, (J.) – *La tapia en los textos hispanos*. Manuscrit en espagnol, éd. par l'auteur, Palencia, Espagne, mai 2005, 13 p.

- Font et Hidalgo 1991** : Font, (F.), Hidalgo, (P.) – *El tapial. Una técnica constructiva milenaria* (catalan). Edité à compte d’auteur, Barcelona, España, 1991.
- Froebenius 1897**: Froebenius, (H.) – *Die erdge-bauerde in Soudan*. Verlag J.F. Richter, Allemagne, 1897.
- Gilly 1797** : Gilly, (D.) – *Handbuch der Land : Bau : Kunst, vorzüglich in Rücksicht auf die Construc der Wohn- undWirthshafits: Gebäude für angehende Cameral: Baumeister*. Friedrich Vieweg dem älteren, Berlin, Allemagne, 1797.
- Goiffon 1772** : Goiffon, (G.C.) – *L’art du maçon piseur*. Librairie Le Jai, Paris, France, 1772.
- Grayson Trulove et al 2004** : Grayson Trulove, (J.),Richter Gree, (N.), Wedlick, (D.) – *Sustainable Homes. 26 Designs that respect the Earth*. Ed. Harper Collins Publishers, New York, Etats-Unis d’Amérique, 2004, 208 p.
- Grezes et al. 1984** : Grezes, (D.), Lozach’meur, (A.), Tirard, (J.C.), Lebalh, (A.), Pidance, (D.) – *L’Isle d’abeau – ville nouvelle. Maisons de Terre. Présentation des projets*. Ed. EPIDA, L’Isle d’Abeau, France, 1984, 64 p.
- Guettard 1782** : Guettard, (J.E.) - *La Minéralogie du Dauphiné – Description générale et particulière de la France*. Laborde, Paris, 1782.
- Guillaud et al. (CRATerre) 1985** : Guillaud, (H.), Doat, (P.), Rollet, (P.), Houben, (H.) – *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé. Etude du savoir-faire « pisé » français et étranger*. Ed. CRATerre, Grenoble, 1985, 389 p.
- Guillaud et al. (CRATerre) 1987** : Guillaud, (H.), et Doat, (P.), Esteve, (J.), Houben, (H.), Rollet, (P.), Verney, (P.E.) – *Marrakech 87 Habitat en Terre*. Ed. CRATerre, Grenoble, France, novembre 1987, 253 p.
- Guillaud 1997** : Guillaud, (H.) – *Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes. François Cointeraux (1740 – 1830) Pionnier de la construction moderne en pisé*. Ed. CRATerre-EAG, Grenoble, France, 1997, 47 p.
- Güntzel 1988** : Güntzell, (J.G.) – *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland, Staufen*. Ökobuch Verlag, Allemagne, 1988.
- Hensens 1970** : Hensens, (J.) - *Enquête nationale sur l’habitat rural traditionnel au Maroc*, in : Bulletin économique et social du Maroc, n° 118-119, Rabat, Maroc, 1970, pp. 95-115.
- Hérodote 5^{ème} s. av. n.è.** : Hérodote – *Histoires*. Ed. Les Belles Lettres, Paris, France, 1932.
- Holland 1797** : Holland, (H.) – *Communications to the Board of Agriculture ; on subjects relative to Husbandry and Internal Improvement of the Country*. Volume 1, parts III et IV. Ed. Bulmer and Co., Londres, Royaume-Uni, 1797. pp. 373-404.
- Houben, Guillaud et al. 1983**: Houben, (H.), Guillaud, (H.), et Dayre, (M.), Doat, (P.) – *Recherche Terre. Recherche exploratoire sur le matériau terre. Les voies de la Recherche ; Volume 1/2*. Ed. AGRA-UPAG, Grenoble, France, 1983, 198 p.
- Houben et Guillaud 1989** : Houben, (H.), Guillaud, (H.) - *Traité de Construction en terre*. Ed. Parenthèses. Marseille, France, 1989, 355 p.
- Howard 1993** : Howard, (T.) – *Mud and Man ; the history of earth buildings in Australasia*. Earth Buildings Publication, Melbourne, Australie, 1993, 198 p.
- Illich 1969** : Illich, (I.) – *Libérer l’avenir*. Ed. du Seuil, Paris, France, 1969.
- Illich 1973** : Illich, (I.) – *Energie et équité*. Ed. du Seuil, Paris, France, 1973.
- Illich 1973** : Illich ; (I.) – *La convivialité*. Ed. du Seuil, Paris, France, 1973.
- Jacques-Meunié 1951** : Jacques-Meunié, (Dj.) - *Greniers-citadelles du Maroc*. Ed. Institut des Hautes Etudes Marocaines, Tome LII, Paris, France, 1951.
- Jacques-Meunié 1962** : Jacques-Meunié, (Dj.) – *Architectures et habitats du Dadès*. Librairie Klincksieck, Paris, France, 1962, 127 p.
- Joy et al 2002** : Joy, (R.), Holl, (S.) , Pallasmaa, (J.) – *Rick Joy. Desert Works*. Ed. Princeton Architectural Press, New York, 2002, 176 p.
- Lasteyrie du Saillant 1802** : Lasteyrie Du Saillant, (C.P.) – *Traité des constructions rurales*. An X (1802). (1).
- Lasteyrie du Saillant 1820** : Lasteyrie Du Saillant (C.P.), – in *Collection de machines, d’instruments, ustensiles, constructions, appareils...* 2 vol., Planche 7, Paris, France, 1820 (source C.N.A.M. – E.H.E.S.S., Centre d’Histoire des Techniques).
- Le Corbusier 1942** : Jeanneret, (E.), Le Corbusier – *Les constructions « Murondins »*. Ed. E. Chiron, Paris, France, 1942, 38 p.
- Le Tiec 2005** : Le Tiec, (J.M.) – *Habitat léger de loisirs*. T.p.f.e., Ecole d’Architecture de Grenoble, France, février 2005.
- Lewis 1977** : Lewis, (M.) – *Victorian Primitive*. Greenhouse Publications, Carlton, Victoria, Australie, 1977, 87 p.
- Liger 1700** : Liger - *L’Economie générale de la campagne*. Saugrain fils, Paris, 1700, Réédition en 1755.
- Loubes 1988** : Loubes, (J.P.) – *Maisons creusées du Fleuve Jaune. L’architecture troglodytique en Chine*. Ed. Créaphis, Paris, France, 1988, 142 p.
- Mauss 1999 (rééd.)** : Mauss, (M.) – *Essai sur le don*. In : Sociologie et Anthropologie, Quadrige, Presses Universitaires de France (PUF), Paris, France, 1999, (8^{ème} édition).

- Meunier 1987:** Meunier, (N.) – *Autre procédé pour la mise en oeuvre de bâtiments en terre compactée*. Mémoire de Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture de Terre, Ecole d'Architecture de Grenoble, France, juin 1987, 48 p.
- Middleton 1953 et 1975 :** Middleton, (G.F.) – *Build your house of earth*. Angus and Robertson, Victoria, Australie, 1953. Réédition révisée chez Compendium Pty Ltd, Melbourne, Victoria, Australie, 1975, 110 p..
- Miller et al. 1947:** Miller, (T.), Grigutsch, (E.), Schulze, (K.W.) – *Lehmbaufibel. Darstellung der reinen Lehmbauweisen mitt 55 Abbildungen*. Ed. Herausgegeben durch die Forschungs-gemeinschaften Hochschule/Weimar, Allemagne, 1947, 104 p.
- Miller et Miller 1980 :** Miller, (L.A.), MILLER, (D.J.) – *Manual for building a rammed earth wall*. Ed. Rammed Earth International Institute (REII), Greeley, Colorado, Etats-Unis d'Amérique, 1980, 64 p.
- Miller et Miller 1982 :** Miller, (L.A.), Miller, D.J.) – *Rammed Earth. A selected Bibliography with a World Overview*. Ed. Rammed Earth International Institute (REII), Greeley, Colorado, Etats-Unis d'Amérique, 1982. 93 p.
- Minke 2000 :** Minke, (G.) - *Earth Construction Handbook* (trad. de la version originale allemande éditée en 1994). Ed. WIT Press, 2000. Southampton, Ashurst, England, 2000.
- Minke 2001:** Minke, (G.) – *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*. Ed. Gate-Basin, Eschborn, Allemagne, 2001.
- Montagne 1930 :** Montagne, (R.) - *Villages et Kasbahs berbères*. Editions Allan, Paris, France, 1930, 20 p.
- Needham 1956 :** Needham, (J.) – *Science and Civilisation in China*. Cambridge, Royaume-Uni, 1956.
- Oliva et al 2004 :** Oliva, (J.P.), Bosse-Platière, (A.), Aubert, (C.) – *Maisons écologiques d'aujourd'hui*. Ed. Terre Vivante, Mens, France, 144 p.
- Oppenheimer Dean et Hursley 2002:** Oppenheimer Dean, (A.), Hursley, (T.) - *Rural Studio. Samuel Mockbee and an architecture of Decency*. Ed. Princeton Architectural Press, New-York, Etats-Unis d'Amérique, 2002. 186 p.
- Oppenheimer Dean et Hursley 2005:** Oppenheimer Dean, (A.), Hursley, (T.) – *Proceed And Be Bold. Rural Studio after Samuel Mockbee*. Ed. Princeton Architectural Press, New-York, Etats-Unis d'Amérique, 2005.
- Oubo et Afshar 1982 :** Oubo, (J.), Afshar, (F.) – *Soil Technology*, pp. 48-53. In dossier *China*, pp. 21-73, revue MIMAR, *Architecture in Development*, n°3, Ed. Concept Media Publisher, Singapour, 1982, 88 p.
- Palladius 5^{ème} s. et 1976:** Palladius - *Opus agriculturae*. Les Belles Lettres, Paris., France, 1976 (rééd.).
- Palmgren 2003 :** Palmgren, (L.A.) – *Svenska jordhus med lera eller kalk 1750-1950. Om olika svenska jordhusmetoder – när, varför och hur de uppfördes*. Ed. Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Royal Institute of Technology, School of Architecture/Building Engineering, Stockholm, Sweden, 2003, 38 p.
- Polanyi 1983 :** Polanyi, (K.) – *La Grande Transformation ; aux origines politiques et économiques de notre temps*. Ed. Gallimard, Paris, France, 1983.
- Pollack et Richter 1952 :** Pollack, (E.), Richter, (E.) - *Technik des Lehmbaues*. Ed. Verlag Technik, Berlin, Allemagne, 1952.
- Ponga 1994 :** Ponga, (J.L.A.) – *La arquitectura del barro*. Junta de Castilla et León. Consejería de Cultura y Turismo. Ed. Santiago García, León, Espagne, 1994 (3^{ème} ed.).
- Porte 2005 :** Porte, (X.) – *Construire sans liant ; architecture du lien*. P.f.e. Master Architecture et cultures constructives, Ecole d'Architecture de Grenoble, France, juillet 2005, 59 p.
- Rauch 2001 :** Rauch, (M.) – *Lehm und Architektur*. Ed. Birkhäuser, Basel, Suisse, 2001, 159 p.
- Retzius 1798 :** Retzius, (A.J.) – *Underrättelse om sättet att bygga stamphus eller beqwäma och oförbränneliga hus a fjord eller lera*. Suède, 1798.
- Rozier 1796 :** Rozier (Abbé) – *Cours complet d'agriculture théorique et pratique*. Paris, France, 1796.
- Rondelet 1840 :** Rondelet, (J.B.) – *Traité de l'Art de Bâtir*. Paris, France, 1840.
- Schneider 1987 :** Schneider, (L.M.) – *Earth wall Construction. Bulletin n° 5, 4th edition*. Ed. du National Building Technology Centre (NBTC), Chastwood, Sydney, Australie, 1987, 65 p.
- Schumacher 1978:** Schumacher, (E.F.) – *Small is Beautiful ; une société à la mesure de l'homme*. Ed. Contretemps/Seuil, Paris, France, 1978, 318 p.
- Seebas 1803 :** Seebas, (C.L.) – *Die Pisé-Baukunst*. Version rééditée par Von Wolfgang Dehmel, Leipzig, Allemagne, 1987, 195 p. et planches.
- Seidelin 1796 :** Seidelin, (K.H.) - *Vejledning til at bygge bequemme og uforbraendelige Huse auf Jord. Uddraget at Cointeraux Beskeivelse og i abskilligt forandret*. Copenhagen, Danemark, 1796.
- Stevens 1983 :** Stevens, (A.) – *Country Case Study. China*. In Actes du Colloque International *Earth Construction Technologies Appropriate To Developing Countries*, Volume 2. Ed. PGC-HS-Katholieke Universiteit Leuven, Belgique, 1984, 38 p.
- Terrasse 1938 :** Terrasse, (H.) - *Kasbahs berbères de l'Atlas et des oasis – Les grandes architectures du Sud marocain*. Paris, France, 1938.

Teyssot 1981 : Teyssot, (G.) – *L'architecture en pisé, [la vie et l'œuvre de l'architecte François Cointeraux (Lyon 1740-1830) qui fut, en France, l'inventeur du « nouveau pisé »]*. In *Monuments Historiques*, n° 116. Ed. Caisse Nationale des Monuments Historiques, Paris, France, 1981, pp. 32-35.

Theus 1956 : Theus, (P.) – *La fondation d'un village de Provence au 18^{ème} siècle : Charleval, 1741*. Ed. La Pensée Universitaire, Aix-en-Provence, France, 1956, 280 p.

Varron 1^{er} s. av. n.è. : Varron – *Res Rusticae*.

Vitruve (trad. Perrault, C. 1674) 1^{er} s. et 1979 : Vitruve – *De Architectura. Abrégé des dix livres d'architecture*. Editions J.B. Coignard, Paris, France, 1674. 226 p. Réédition chez Mardaga, Liège, Belgique, 1979. Egalement chez Balland, Paris, France, 1979.

Wilke 2005: Wilke, (Ch.) – *Une approche de l'habitat économique*. P.f.e. Master Architecture et cultures constructives, Ecole d'Architecture de Grenoble, France, juillet 2005. 176 p.

Young 1790 : Young, (A.) - *Voyages en France, 1787, 1788 et 1790*. Ed Sée, Lib. Armand Colin, Paris, France, 1931.

Zschokke 1849 : - Zschokke, (A.), *Anleitung zum Pisé-Bau, Mit Spezieller Rüdfight auf bas Berfahren bei den Bauten im Kanton Aargau*. Gauerländer Verlags, Haran, Suisse, 1849. - *Bâtir en Pisé*. Trad. Française de Werner Heerde, éd. EPFL de Lausanne, Suisse, 1983.

Planche 1

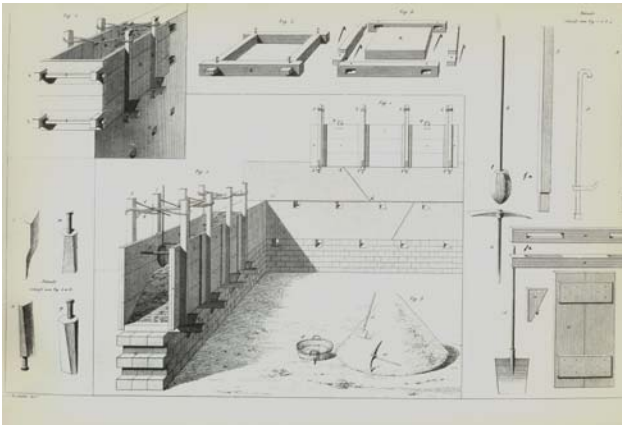


Fig. 1 a : Les outils du piseur (banches, porte, clés et potelets, pilons et Pisoirs) et moules à brique crue (Rondelet, J.B. – Planche dt Traité de L'Art de Bâtir, 1840, Livre 1^{er}, 1^{ère} Section, Chap. 1^{er}. Réédité en fac Simile par l'Instituto Juan de Herrera, Fondo antiguo de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, 216 p., p. 8



Fig. 1 b : Maison type en pisé de la région du Lyonnais (Rondelet, J.B. – Planche du Traité de l'Art de Bâtir, 1840, Livre 1^{er}, 1^{ère} Section, Chap. 2 Réédité en fac simile par l'Instituto Juan de Herrera, Fondo antiguo de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, 216 p., p. 9.



Fig. 2 : Kasbah en pisé (leuh) et en adobe, maison ksourienne traditionn elle dans la vallée du Draa, Maroc (H. Guillaud).



Fig. 3 : Coffrages spéciaux en forme de « L » et de « T », imaginés par G.F. Middleton, dans les années 1950, en Australie. Observés au National Building Technology Centre de Chastwood, Sydney, En 1988 (H. Guillaud).

Planche 2



Fig. 4 : Corps d'habitation d'une ferme en pisé et béton (cuvelage de cave, soubassements et allèges du rez-de-jardin, tableaux des baies de l'étage), datée de 1914, sise à Dolomieu, nord de l'Isère (H. Guillaud).

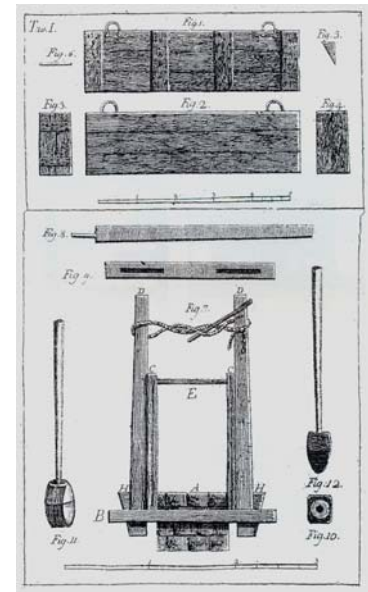


Fig. 5 : Les outils du piseur, d'après François Cointeraux ; planche du Traité De Giuseppe Del Rosso de 1793 (in Bertagnin, M., 1993, p. 103).

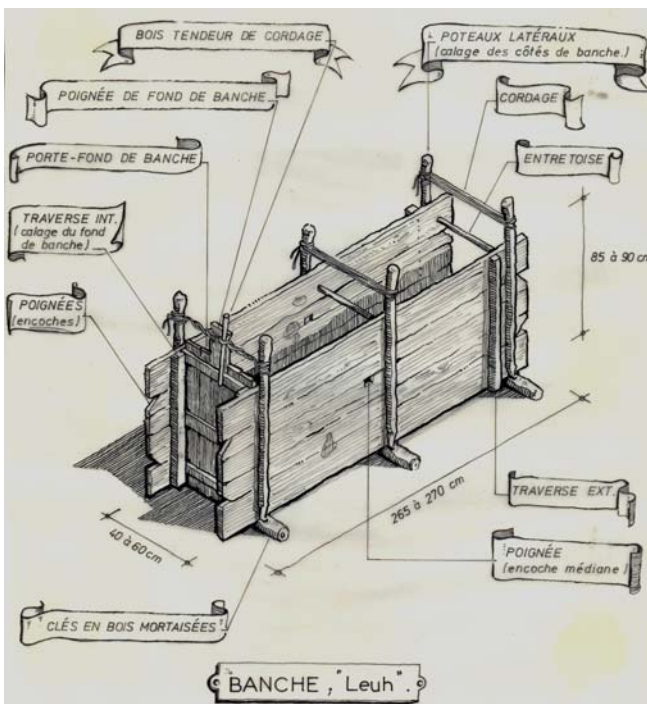


Fig. 6 a : Coffrage traditionnel des piseurs marocains (CRATerre et GAITerre, 1983, p. 100).

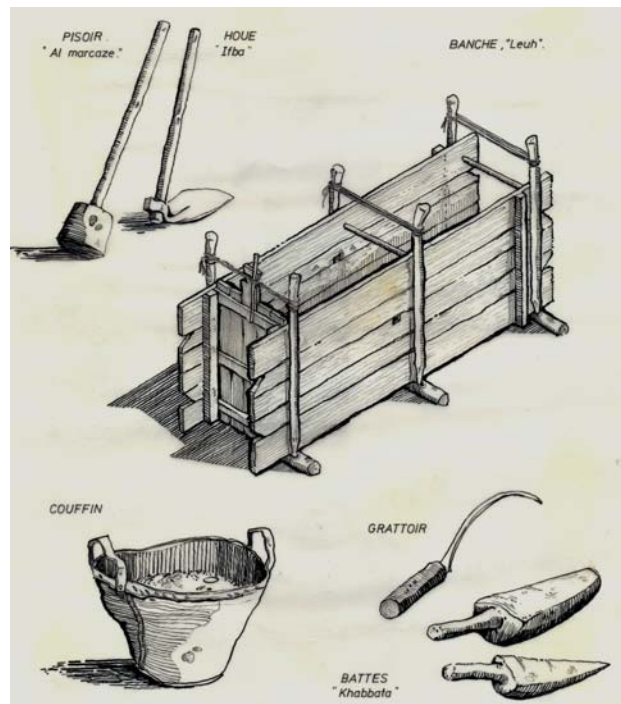


Fig. 6 b : Coffrages traditionnels des piseurs marocains et autres outils (CRATerre et GAITerre, 1983, p. 99).

Planche 3

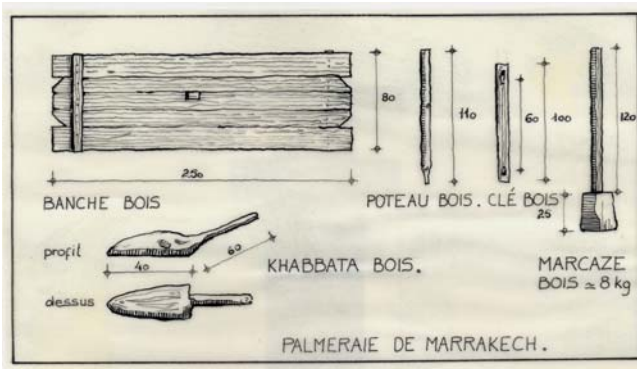


Fig 6 c : Relevé d'une banche de coffrage traditionnel (tous éléments en Bois) de piseur marocain (maâlem) dans la palmeraie de Marrakech (CRATerre et GAITerre, 1983, p. 102).

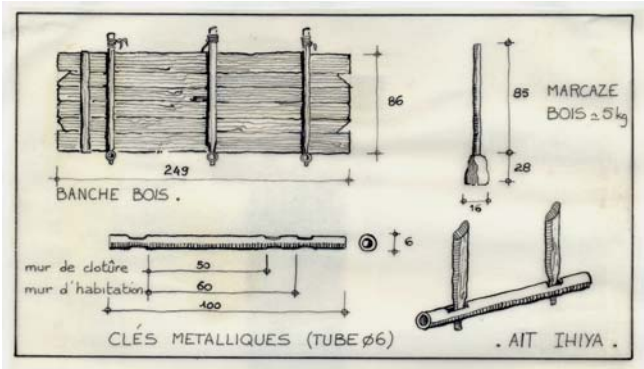


Fig. 6 d : Relevé d'une banche de coffrage traditionnel de piseur marocain (maâlem), clés et supports en tubes de métal, dans le village (CRATerre et GAITerre, 1983, p. 101).

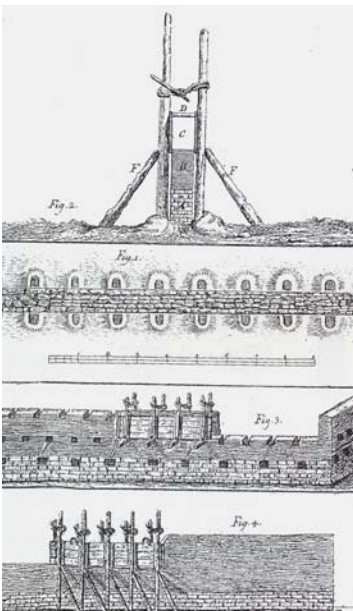


Fig. 7 : Le coffrage de la méthode dite « du Bugey », avec perches et étais de support des banches ; d'après François Cointeraux. Planche du Traité de Giuseppe Del Rosso (in Bertagnin, M., 1993, p. 105).



Fig. 8 : Coffrage en bois à progression linéaire, de longueur augmentée ; chantier des architectes Odile Perreau-Hamburger et Jean-Michel Savignat, Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, été 1984 (H. Guillaud).

Planche 4

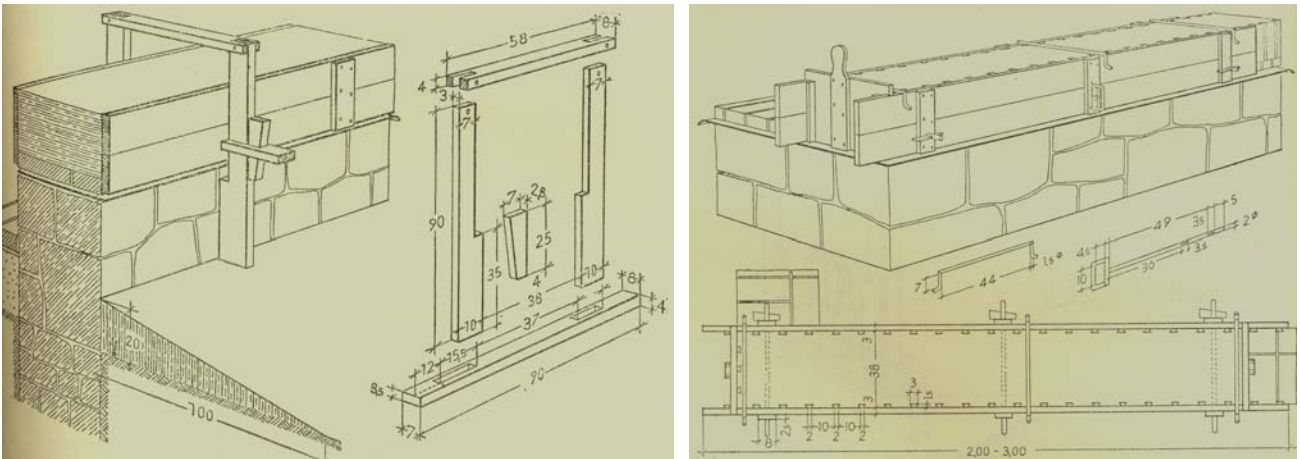


Fig. 9 a et 9 b : Coffrage à pisé en bois, de hauteur réduite, maintenu par des portiques en bois, utilisé en Allemagne après la Seconde Guerre Mondiale Lors de la reconstruction rurale (Miller 1947, pp. 39 et 40).



Fig. 10 : Coffrage à pisé métallique ; chantier de l'architecte Serge Jauré. Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, été 1984



Fig. 11 : Coffrage grimpant à fûts de troncs et porte toute hauteur utilisé traditionnellement en Chine (région de Xian) pour réaliser des murs de clos (d'après Needham, 1956, in Loubes, J.P., 1988 ; p. 44.

Planche 5

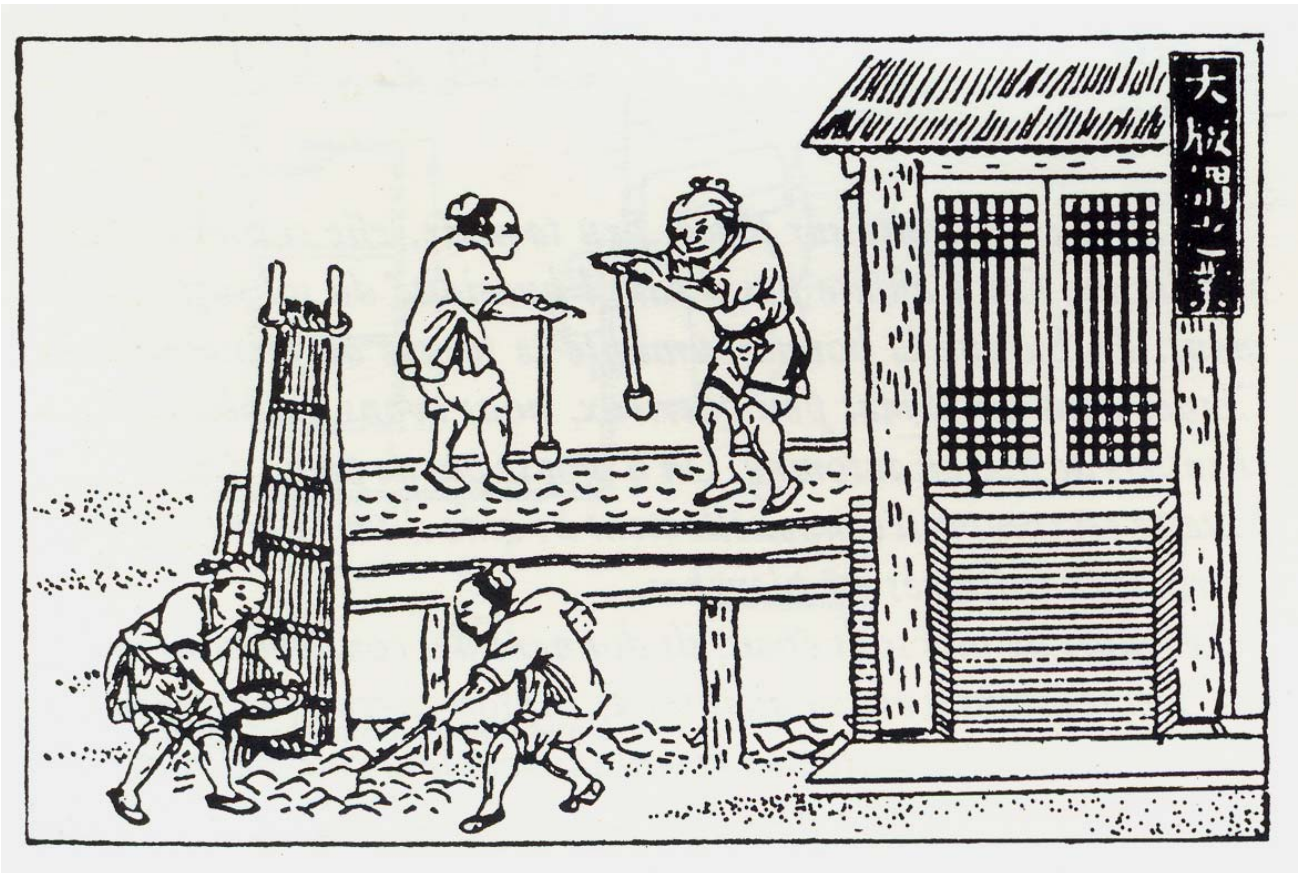


Fig 12 : Piseurs chinois à l'ouvrage (Loubes, J.P., 1988, p. 45).



Fig 13 : Utilisation d'un coffrage métallique grimpant pour réaliser des murs trumeaux toute hauteur, sur un chantier en Australie, région de Perth (S. Maïni, début des années 1990).



Fig. 14 : Utilisation d'un coffrage intégral en panneaux de contreplaqué et structure métallique, approvisionnement de la terre par manitou à godet. Entreprise Schmidt Builders à Saint David, sud de l'Arizona, 1981 (H. Guillaud).

Planche 6



Fig. 15 : Coffrage intégral en aluminium, utilisé sur un chantier de la région de Melbourne, Australie (Entreprise Terraco Ltd, Wanabee, milieu des années 1980).



Fig. 16 a : Coffrage intégral en boisage de planches, de forme courbe, utilisé sur le chantier de Jean-Vincent Berlotier, Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, 1984 (H. Guillaud).



Fig. 16 b : Vue extérieure des cages d'escalier de forme courbe, projet de Jean-Vincent Berlotier, Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, 1983-85 (H. Guillaud).



Fig. 17 : Villa en pisé à mur courbe mis en œuvre avec un coffrage intégral en structure acier et panneaux de bois tripli. Maison de Philippe Rabier, à Anglet, Pyrénées-Atlantiques (S. Dugelay, 2003).



Fig. 18 : Coffrage spécial métallique en « T » pour réaliser des piliers/trumeaux auto stables. A été utilisé sur un chantier de construction parasismique au Guatemala, par l'ingénieur allemand Gernot Minke, en 1979 (H. Guillaud).



Fig. 19 : Réalisation d'un bloc de pisé préfabriqué et système de levage par palonnier et grue, chantier d'un logement en pisé à Montbrison, Loire, début des années 1990).

Planche 7

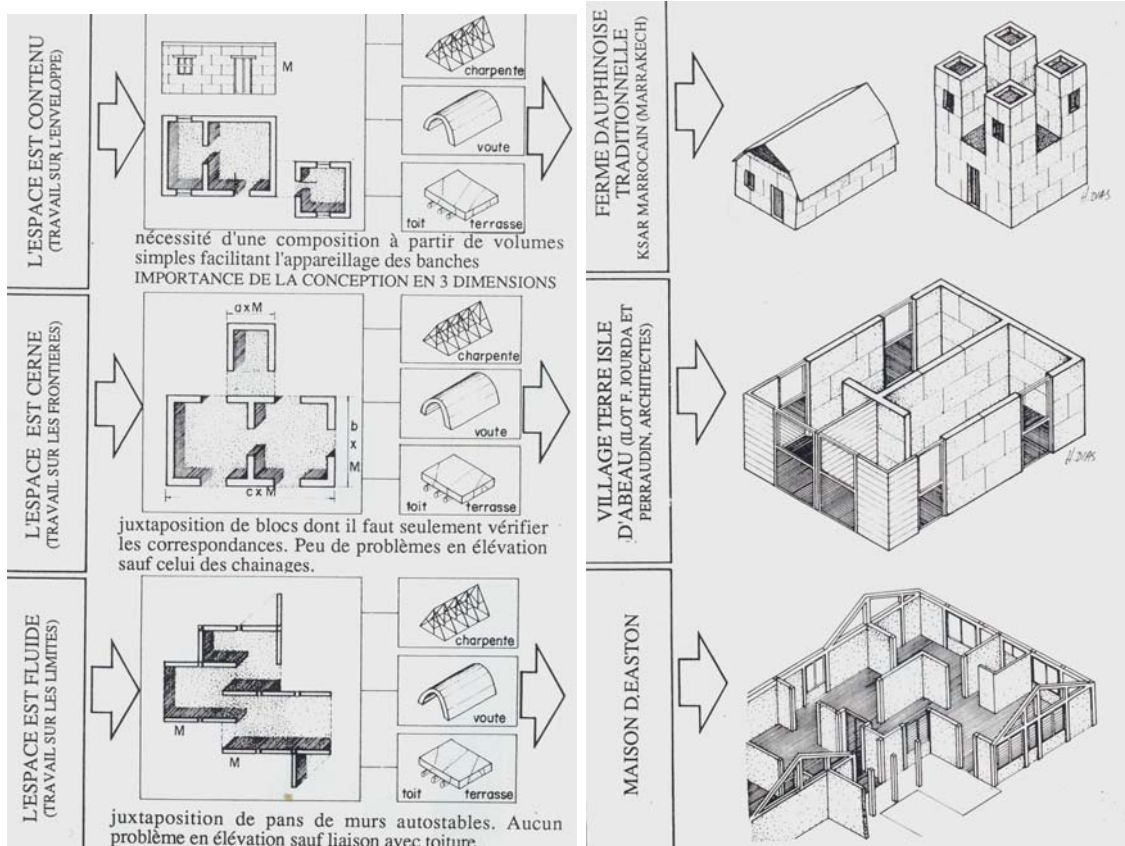
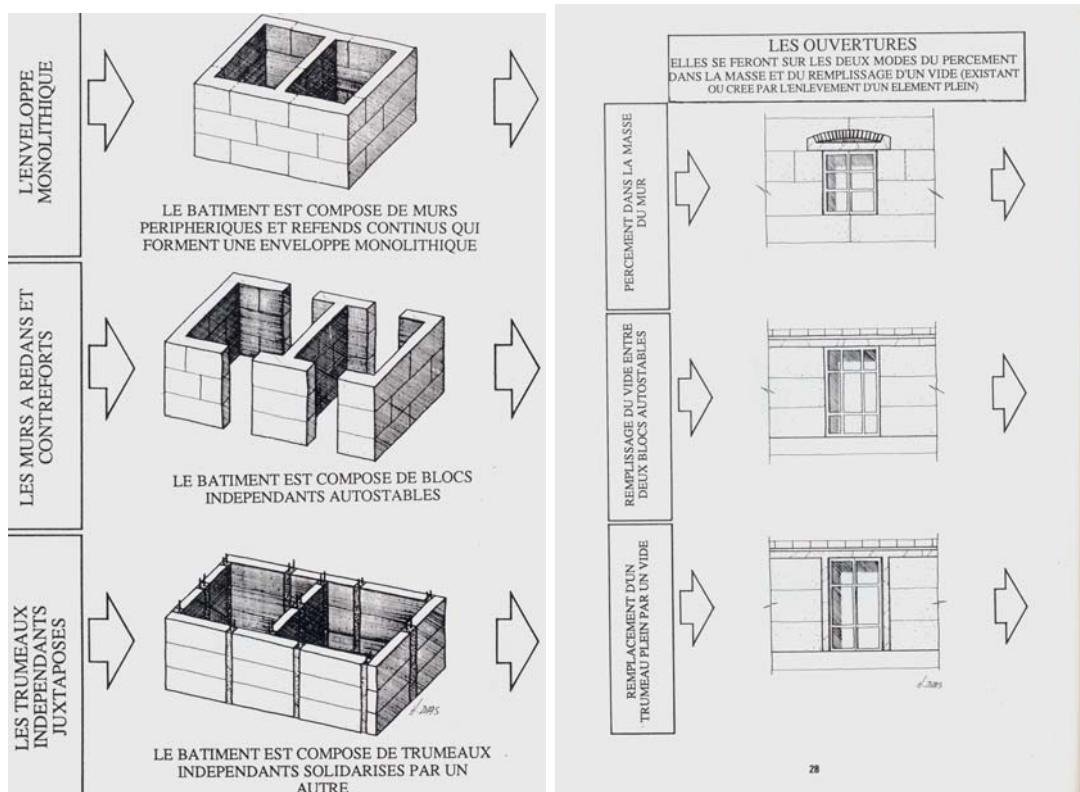


Fig. 20a, b, c, d : Typologie de structures en pisé, modes de percements adaptés, ressources du plan et types d'architecture (Guillaud et al. 1987, pp. 27-30).

Planche 8



Fig. 21 : Construction de voiles de pisé auto stables, mis en œuvre en coffrage intégral d'aluminium, chantier de villa réalisé à Wanabee, banlieue de Melbourne, par l'entreprise Terraco Ltd (H. Guillaud, 1988).



Fig. 22 : Chantier de la Halle de vente du Panier Fermier, association d'agriculteurs, Creux-De-la-Thine, Drôme, réalisé par les étudiants du CEAA-Terre de l'Ecole d'Architecture de Grenoble et les agriculteurs. Coffrage grim pant métallique pour panneaux de murs trumeaux (Th. Joffroy, années 1990).



Fig. 23 : Projet de Gilles Perraudin et Françoise Jourda, Domaine de la Terre de Villefontaine, Isère, 1993-85. Murs en « T » et en « L » mis en œuvre en coffrage intégral métallique (H. Guillaud).

Planche 9

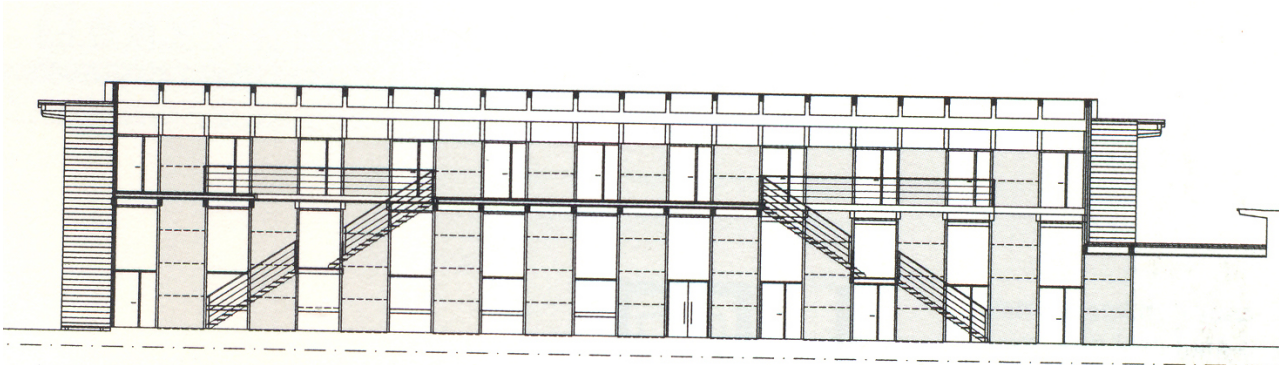


Fig. 24 : Planche du projet de l'imprimerie Gugler, à Pielach, Autriche, réalisé en 1998-99 par Martin Rauch. Système de paroi en empilement d'éléments de murs en pisé modulaires, préfabriqués en atelier (Rauch, 2001, p. 132).

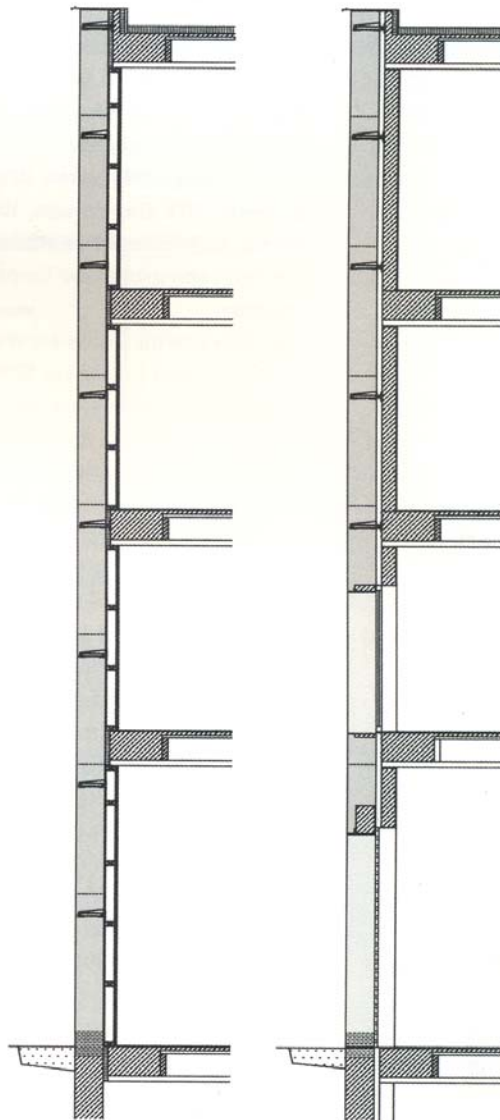


Fig. 25 : Détail en coupe sur le système de paroi en empilement d'éléments de murs en pisé modulaires, préfabriqués en atelier, projet de bâtiment de stockage de la Fondation Emanuel Hoffmann, à Basel, conçu par les architectes suisses Herzog & de Meuron (Rauch, 2001, p. 142).

Planche 10



Fig. 26 : Villa en pisé, adobes et briques cuites, réalisée dans la palmeraie de Marrakech, Maroc, par l'architecte entrepreneur Elie Mouyal, années 1990 (archives CRA Terre).



Fig. 27 : Gîte rural en pisé construit par l'agriculteur poitevin Alain Bozier (Th. Joffroy, années 1990).



Fig. 28 : Projet de lotissement en pisé réalisé par l'architecte rennais Dominique Urien, à Romillé (Th. Joffroy, années 1990).

Planche 11



Fig. 29 : Villa en pisé réalisée par l'architecte portugaise Teresa Berão en région d'Alentejo, fin des années 1990 (H. Guillaud, 2005).



Fig. 30 : Vue intérieur sur patio, avec pan de mur en pisé brut, villa en pisé réalisée par l'architecte portugaise Teresa Berão en région d'Alentejo, fin des années 1990 (H. Guillaud, 2005).



Fig. 31 : Maison en pisé de l'architecte portugais Henrique Schreck, région d'Alentejo, années 1990 (H. Guillaud, 2005).



Fig. 32 : Intérieur (salon/salle à manger) avec pisé brut apparent, maison en pisé de l'architecte portugais Henrique Schreck, région d'Alentejo, années 1990 (H. Guillaud, 2005).



Fig. 33 : Marché couvert réalisé en pisé dans une petite ville du sud du Portugal, années 1990 (H. Guillaud, 2005).

Planche 12



Fig. 34 : Hôtel Korralbyn, à Kangaroo Island, Australie, réalisé par l'architecte David Oliver et son entreprise Terrastone/CEAC (D. Oliver, fin des années 1980).

Fig. 35 : Collège en pisé à Cobber Peddy, Australie, réalisé par l'architecte David Oliver et son entreprise Terrastone/CEAC (D. Oliver, fin des années 1980).



Fig. 36 : Villa en pisé dans la périphérie de Perth, *Western Australia*, réalisée par l'entrepreneur Stephen Dobson, société Ramtec (Ph. Garnier, fin des années 1990).

Planche 13



Fig. 37 : Intérieur, séjour/salon, villa en pisé dans la périphérie de Perth, Western Australia, réalisée par l'entrepreneur Stephen Dobson, société Ramtec (Ph. Garnier, fin des années 1990).

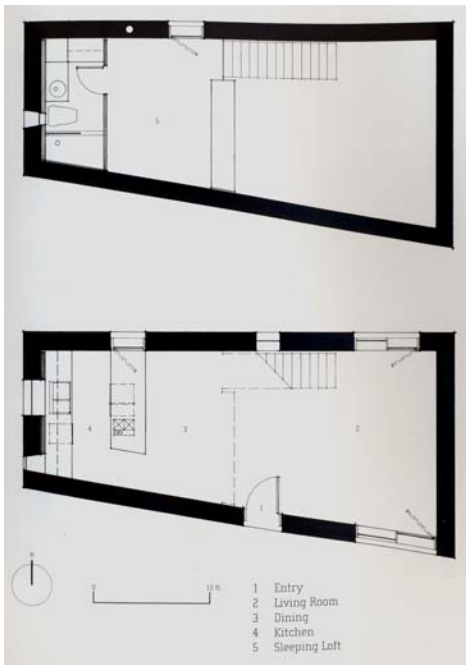


Fig. 38 : Plan des studios en pisé de Convent Avenue, à Tucson, Arizona, Etats-Unis d'Amérique, réalisé par l'architecte Rick Joy (Joy, R. et al. 2002, p. 37). Enveloppe monolithique en pisé.

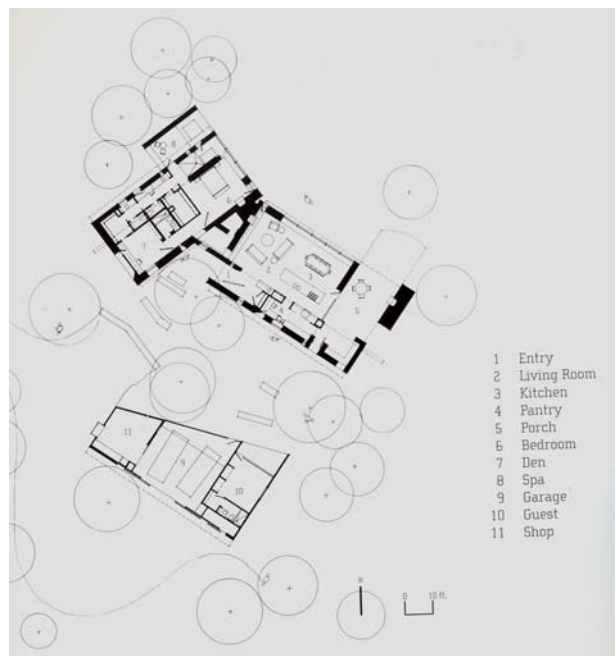


Fig. 39 : Plan d'une villa en pisé réalisé dans le désert de Soñora, Arizona, Etats-Unis d'Amérique, réalisé par l'architecte Rick Joy dans les années 1990 (Joy, R. et al. 2002, p. 68). Système en éléments de murs auto stables et voiles trumeaux, espace cerné Par les frontières du plan.

Planche 14

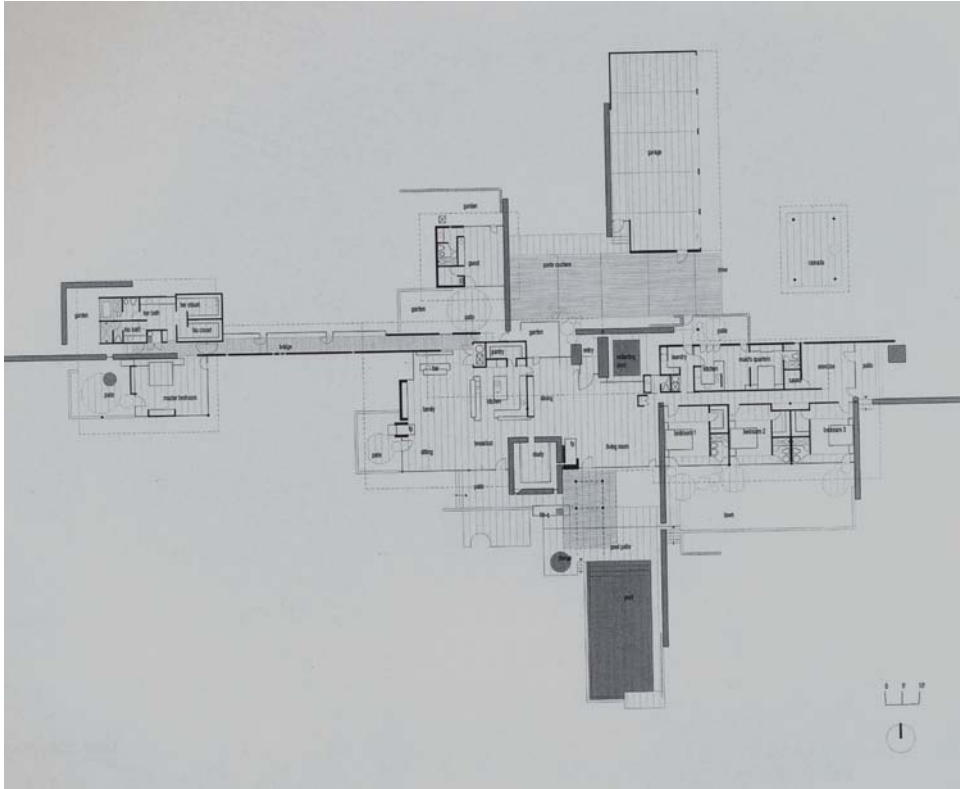


Fig. 40 : Plan d'une villa en pisé du Studio Jones, en Arizona, Etats-Unis d'Amérique, années 1990. Grands voiles porteurs en pisé et structure en bois et métal, larges baies vitrées. Espace cerné par les limites du plan (Grayson Trulove et al., 2004, p. 148).



Fig. 41 : Prototype d'habitat léger en bois et panneaux en béton de terre et granulats coulés, réalisé par l'architecte Christophe Wilke aux Grands Ateliers de Villefontaine à l'occasion de la manifestation Grains d'Isère 2005 (H. Guillaud).

INTERNATIONAL CONFERENCE

"LA PIETRA DA COSTRUZIONE : IL TUFO CALCAREO E LA PIETRA LECCESE"
BARI, 26-28 MAI 1993

(article publié dans les actes de la conférence internationale)

**La Pathologie d'humidité et structurale des constructions en terre:
une approche méthodologique de l'entretien et de la restauration
utile aux autres constructions en matériaux tendres**

Résumé

Comme toutes les constructions, celles bâties en terre (briques de terre moulée ou adobes, blocs de terre comprimée, pisé ou terre compactée, bauge ou terre empilée), sont exposées au risque de pathologie d'humidité et structurale. Ce risque est partagé par d'autres constructions réalisées en d'autres matériaux comme la pierre et particulièrement en pierres tendres (molasses, tuf, par exemple). Mais la sensibilité de la terre aux agents et aux causes de dégradation, sans doute plus forte que celle d'autres matériaux minéraux, en fait un véritable laboratoire d'observation, d'étude et d'analyse où les phénomènes pathologiques sont fortement caractérisés, voire accentués. Ainsi, l'approche méthodologique qui a pu être développée sur la pathologie des constructions en terre visant à établir un diagnostic scientifique des dégradations de nature humide et structurale en vue de définir les voies d'une pratique d'entretien, de restauration ou même de construction actualisée, peut-elle être riche d'enseignements pour les opérateurs de la construction qui sont appelés à intervenir sur des constructions réalisées en autres matériaux tendres.

La communication que l'on présente ici propose une synthèse des recherches qui ont été entreprises par le CRATerre de l'Ecole d'Architecture de Grenoble sur cette question de l'analyse-diagnostic des pathologies des constructions en terre et de leur traitement. Elle met en évidence les principaux désordres typiques, de nature humide ou structurale auxquels sont exposées les constructions en terre ; elle rapporte les phénomènes pathologiques et leurs conséquences à un ensemble de cinq principaux critères d'action que sont l'érosion, l'absorption, la condensation, les forces dynamiques et les forces statiques ; elle propose une méthode de diagnostic des désordres observés qui met en relation les manifestations, les causes et leurs origines, les observations, l'évaluation des symptômes et leur analyse et les mesures à prendre en vue d'une stabilisation ou d'une résorption de la pathologie ; enfin, elle rapproche les pratiques de la restauration de celle de la construction actualisée en proposant une aide à l'intervention qui s'appuie sur une mise en relation de trois ensembles de paramètres : 1) les éléments distincts de construction, 2) les critères ou principaux agents de dégradation et 3) la constitution de la structure.

I) La pathologie d'humidité typée des constructions en terre

(voir dessin n° 1, coupe verticale théorique, référence bibliographique 1).

I.1 - Présence de l'eau dans les bâtiments

Les constructions en terre sont particulièrement sensibles aux actions de l'eau et de l'humidité. Un séjour prolongé de l'eau ou de l'humidité, à proximité ou à l'intérieur d'un bâtiment en terre le rend inconfortable, voire malsain et peut même induire un processus de dégradation rapide.

Trois conditions doivent être réunies pour que l'eau agisse :

- 1 - présence de l'eau à la surface du bâtiment ;
- 2 - présence d'une voie de pénétration de l'eau en surface : fissure, ouverture ;
- 3 - action d'une force : pression, gravité, capillarité qui fait pénétrer l'eau.

Bien sûr, l'élimination de ces conditions favorisant l'action néfaste de l'eau permet l'assainissement du bâtiment et peut éradiquer le risque de dégradation provenant de cette pathologie d'humidité. Mais ceci n'est pas toujours aisé.

Il est possible de réduire l'action de l'eau sur les murs en intervenant sur la base des murs, sur les fondations ou sur le soubassement (consolidation, restauration), en protégeant le haut des murs (restauration de la toiture) ou en réduisant le risque de condensation (suppression des ponts thermiques par exemple). Il est aussi possible de colmater les voies de

pénétration de l'eau (fissures). On peut aussi agir sur les forces de pénétration de l'eau, sur la capillarité par exemple. Mais toutes ces interventions sont parfois délicates. En tout cas, on ne doit surtout pas imperméabiliser la surface des murs de terre car ceux-ci doivent avant tout pouvoir respirer et demeurer perméables aux migrations de vapeur d'eau (pièces humides notamment comme salles d'eau, cuisines).

La meilleure stratégie et la plus efficace consiste à éloigner l'eau des parties les plus sensibles du bâtiment, c'est à dire des murs. On comprend alors par là tout le bon sens d'un dicton populaire (région du Devon en Angleterre) qui déclare : "une maison en terre ne demande qu'un bon chapeau et de bonnes bottes". Un tel dicton ne serait-il pas applicable aussi à des ouvrages réalisés en brique cuite, en pierre, voire même en béton ? Car en fait, que l'eau frappe la surface des murs (pluie) pour ensuite s'évaporer (cycle d'humidification-séchage), cela n'est pas très important. Mais, que l'eau pénètre dans la masse des murs, y séjourne, cela peut être très grave.

I.2. Les actions typées de l'eau

Les actions les plus typées de l'eau sur un ouvrage construit, en terre ou même en autre matériau, sont résumées par un système d'action que l'on dénommera ici le "système de la goutte d'eau" : impact, ruissellement, stagnation, absorption, rejaillissement. Dans un deuxième temps, l'action de l'eau peut faire place à un second stade d'action plus malsain, celui de l'humidité. Ces actions sont bien sûr d'autant plus fortes que le matériau est d'une porosité élevée.

Mais l'on remarquera que les points les plus fragiles des constructions en terre et de bien d'autres constructions en maçonnerie (pierre, brique, béton), qui offrent le plus de faiblesses aux actions de l'eau et de l'humidité, sont : la base des murs et le haut des murs.

Il existe aussi d'autres points faibles, plus localisés tels que les tableaux d'ouvertures (portes, fenêtres), les débords de toitures et acrotères de terrasses, les descentes d'eau ou les gargouilles et les liaisons structurales entre différents matériaux : murs de terre et planchers en bois par exemple. Ce sont ces points faibles qu'il faudra particulièrement soigner.

I.3. Mécanismes et effets de la pathologie d'humidité sur les éléments de construction

(voir série de dessins n°2, référence bibliographique 2 et 3)

Nous décrivons ici ces mécanismes et effets de la pathologie d'humidité par rapport aux principaux éléments de construction des ouvrages.

a) Les fondations : elles sont très souvent affectées par des remontées capillaires ayant plusieurs origines : fluctuations saisonnières de la nappe phréatique, rétention d'eau par de la végétation arbustive environnante, réseau d'adduction ou d'évacuation des eaux domestiques détériorés, stagnation de l'eau à la base des murs par absence ou déficience du drainage périphérique de la base des murs, fréquence d'un rejaillissement (chutes de la rive de toiture ou éclaboussures). Dans les constructions en terre, un état humide durable peut entraîner un affaiblissement de la base des murs car l'état sec et solide du matériau peut évoluer vers un état plastique qui résiste beaucoup moins aux charges. Il y a donc, à terme, risque d'effondrement. Cela est moins sensible sur les murs de pierre mais l'humidité, comme sur la pierre, peut aussi favoriser le développement d'efflorescences salines - NaCl, CaSO₄, NaSO₄, par exemple - qui attaquent le matériau : creusement de cavités. Que dire alors d'une situation de gel sur un état d'humidité prolongé : desquamation de surface, effritement, écroulement partiel.

b) Les soubassements : au-dessus du terrain naturel, la base des murs peut être minée par différents phénomènes : le rejaillissement depuis la toiture (rives sans cheneaux, gargouilles), la projection de flaques, le lavage des sols intérieurs (plinthes détériorées ou mal dimensionnées), la condensation de surface (rosée matinale), un ruissellement au pied du mur (caniveau trop proche), une imperméabilisation de surface qui bloque l'évaporation (trottoir en ciment, enduit ou peinture étanche) ou bien l'existence d'une flore de surface parasite (mousse) ou d'efflorescences qui proviennent d'un état durable d'humidité.

c) le mur courant : l'eau s'infiltré par les fissures structurales (mauvais appareillage des blocs de terre ou des blocs de pierre, joints de mortier dégradés, tassement différentiel du sol, cisaillement du à une mauvaise reprise des charges) : infiltration, absorption, capillarité, creusement du mur. Lorsque le mur est revêtu d'un enduit étanche aux migrations de vapeur d'eau, la condensation en paroi froide (été : mur intérieur, hiver : mur extérieur) ou l'existence d'un point de rosée entre l'enduit et le mur dégradent le mur.

d) mur-ouvertures : à l'interface des tableaux d'ouvertures (portes et fenêtres) et des murs, l'eau ruisselle (jambages, appuis, linteaux) et s'infiltré entre les cadres de menuiseries et le mur : dégradations localisées qui peuvent prendre rapidement de l'ampleur.

e) mur-planchers : le passage ou l'appui des poutres de plancher dans ou sur le mur peut favoriser l'existence de fissures (traction, cisaillement) et donc créer des voies d'infiltration qui favorisent des dégradations localisées du mur.

f) mur-toitures : en présence de toitures à rampants, le haut des murs insuffisamment protégé par un bon débord de toiture en rive basse ou démunie de cheneaux ou même muni de cheneaux mais dégradés ou mal dimensionnés, favorise un ruissellement et donc des infiltrations par les voies de pénétration existantes (fissures, joints). Lorsque l'on est en présence de toitures terrasses, c'est souvent au passage des gargouilles, parfois mal conçues ou mal dimensionnées, mal protégées à leur entrée ou à leur sortie, bouchées par une accumulation de matériaux d'apports (boues, résidus de transport éolien) que l'eau stagne, ruisselle, s'infiltré, étant alors absorbée par le mur et engendrant une capillarité localisée. De même aux acrotères dont la base intérieure est mal drainée ou lorsqu'ils sont mal protégés par des chapeaux peu débordants, fissurés ou revêtus d'un enduit dégradé, voire encombrés par des objets qui y sont déposés contre, voire décorés par des jardinières de fleurs ou de plantes arbustives que l'on arrose et qui favorisent une rétention d'eau et d'humidité. Enfin, les terrasses elles-mêmes, qui peuvent être fissurées ou revêtues d'un matériau de protection dégradé favorisant ainsi l'infiltration.

II) La pathologie structurale typée des constructions en terre

(voir dessin n° 3, coupe verticale théorique, référence bibliographique 1))

II.1. - Désordres de structure typiques

Sur les constructions en terre, les désordres de structure se manifestent assez typiquement par des fissures.

a) Les fissures structurales : elles concernent la structure du bâtiment et proviennent le plus souvent d'erreurs d'exécution, de modifications ultérieures à l'état d'origine ou de causes accidentelles. Le matériau est alors exposé à un dépassement de résistance aux contraintes mécaniques : trop forte compression, poinçonnement, traction, flexion, cisaillement. Cela est aussi observable sur des constructions en pierre.

b) Les fissures de retrait : elles sont typiques de la construction en terre et plus particulièrement du "pisé" (terre compactée dans des banches). Elles proviennent de l'utilisation d'un matériau trop argileux ou d'une exécution mal soignée (terre compactée à l'état trop humide). Elles sont très caractéristiques, verticales et régulières (tous les 0,50 m à 1 m). Le retrait peut aussi provenir de cycles répétés d'humidification-séchage du mur. Mais on peut aussi observer, sur les maçonneries en petits éléments (briques cuites, pierres) l'apparition de fissures dues au retrait linéaire de la maçonnerie lorsqu' aucune dilatation est ménagée dans la longueur maximale du mur qui se situe entre 5 à 7 mètres, selon le matériau et la qualité de l'exécution. De telles fissures de retrait de la maçonnerie risquent de devenir des fissures structurales.

c) Le flambement : le mur peut se déformer (ventre extérieur), du fait de fortes contraintes mécaniques pouvant provenir d'un élancement (absence de chaînage) ou de charges localisées trop importantes. Ces déformations sont le plus souvent accompagnées de fissures qui apparaissent au-delà d'un seuil de résistance au fluage du matériau.

d) L'effondrement : il peut être provoqué par des contraintes accumulées qui augmentent la fragilité de la construction ou par une perte de résistance du matériau (état humide durable par exemple). Mais des contraintes occasionnelles ou accidentelles peuvent aussi intervenir : tassement différentiel, gonflement du sol, séismes, chocs exercés sur la construction).

e) Décomposition du matériau : la structure minéralogique ou chimique du matériau terre peut évoluer sous l'action de l'humidité, de fortes chaleurs, du gel. En perdant sa cohésion, il peut se désagréger. Cette évolution de la structure du matériau peut fragiliser la construction.

II.2. - Principales causes des désordres structurels :

On distingue six principales causes de désordres structurels pour les constructions en terre dont certaines sont communes à d'autres matériaux de construction de maçonnerie.

- la sollicitation du matériau à l'encontre de ses caractéristiques : travail du matériau en traction ou flexion. La terre comme la plupart des matériaux de maçonnerie ne travaille bien qu'en compression.

- une forte pathologie d'humidité qui diminue la résistance du matériau.
- la construction de l'ouvrage sur un mauvais terrain qui ne résiste pas aux charges transmises : tassement différentiel, gonflement, glissement.
- la mauvaise conception du bâtiment : fondations excentrées, sous-dimensionnées, murs non chaînés trop élancés, nombre exagéré d'ouvertures dans un même panneau de mur, surcharges excessives des planchers ou des toitures, poinçonnements localisés.
- la mauvaise mise en oeuvre du bâtiment : matériau de mauvaise qualité, systèmes constructifs mal exécutés (erreurs d'appareillage des blocs de terre ou de pierre, "coups de sabre", mauvais mortier), ouvertures mal dimensionnées, pas de chaînage, mauvaise protection basse et haute du mur (pathologie d'humidité).
- des causes annexes : influences climatiques (action du vent sur une pathologie d'humidité marquée), actions des êtres vivants (parasites végétaux, érosion d'animaux), chocs accidentels.

II.3.- Mécanismes et effets de la pathologie structurale sur les éléments de construction

a) Les fondations : sur des terrains instables ou peu résistants, des fondations sous-dimensionnées, pas assez résistantes ou excentrées par rapport aux charges des murs (coup de sabre), ou encore mal drainées (humidité), entraînent une pathologie structurale : fissurations.

b) Le soubassement : l'exposition de la base des murs à l'action répétée ou durable de l'eau (humidité, flore parasite, sels, perte de cohésion), l'action de chocs accidentels, la modification des abords du bâtiments par des travaux d'aménagement routier ou de jardin, peuvent affaiblir la résistance des murs.

c) les murs courants : la mauvaise exécution des murs peut considérablement affaiblir leur résistance : mauvais appareillage des éléments de la maçonnerie, variation ou hétérogénéité dans la qualité des matériaux employés ou dans la taille des éléments de maçonnerie (briques, pierres), faible résistance du mortier de liaison, fissures de retrait trop importantes du fait d'une mauvaise teneur en eau de compactage (pour un "pisé").

d) mur-ouvertures : la mauvaise reprise des descentes de charges par les jambages des tableaux de baies (portes et fenêtres) peut cisailer les appuis et les allèges. Des linteaux mal conçus peuvent fléchir et occasionner des fissures qui affaiblissent le mur.

e) mur-plancher : un mauvais ancrage des poutres de plancher dans les murs (pénétration insuffisante) ou l'absence de dispositif de répartition des charges, (poinçonnement), l'absence de chaînage, favorisent l'apparition de fissures.

f) mur-toiture : la mauvaise reprise des charges de la toiture par l'absence de chaînage ou par un sous-dimensionnement du chaînage favorisent la fissuration. De même, une pathologie d'humidité durable au voisinage des cheneaux, des descentes d'eau, des gargouilles, des acrotères de toitures terrasses, peut entraîner rapidement une pathologie structurale : effritement, désagrégation du matériau, effondrements partiels.

III) Bien comprendre les effets et les conséquences des principaux agents de dégradation pathologiques

(Voir série de dessins n° 4, référence bibliographique 2 et 3).

Les recherches menées sur le comportement pathologique des constructions en terre ont permis de distinguer de façon assez caractéristique un ensemble de cinq principaux critères ou agents de dégradation qui sont : *l'érosion, l'absorption, la condensation, l'action de forces dynamiques et l'action de forces statiques*. Il importe de bien comprendre les effets et les conséquences des cinq principaux agents d'action pathologique ou de dégradation.

a) l'érosion : elle est principalement due à l'action de la pluie battante, du vent et des êtres vivants.

- *Les effets de l'érosion :*

La pluie : elle agit par :

- *l'impact*, direct ou répété qui risque d'altérer la surface des éléments extérieurs de l'ouvrage, de provoquer un effritement ;
- *le ruissellement* : écoulement de l'eau de pluie sur une surface : risque d'érosion de surface ;
- *le rejaillement* : impact indirect et répété de la pluie rebondissant sur le sol, sur un auvent, un pavement extérieur,

sur des éléments saillants ou rentrants : risque d'altération, effrittement, creusement ;

Le vent : il agit par action mécanique d'autant plus marquée que l'on est en présence d'une pathologie d'humidité et lorsqu'il y a des effets de tourbillons (effets de coin, de sillage, de rouleaux tourbillonnaires, effets venturi).

Etres vivants : ils provoquent le plus souvent des chocs ponctuels ou peuvent accentuer un pathologie d'humidité des abords de l'ouvrage (arrosage p.e.).

- **Les conséquences de l'érosion** :

- dégradations de surface, diminution de la résistance mécanique du matériau, accentuation de voies de pénétration de l'eau et risque d'infiltration, absorption, capillarité.

b) l'absorption : elle résulte d'une présence d'eau répétée ou durable en contact avec les éléments de construction ou de l'action de la pluie

- **Les effets de l'absorption** :

Eau en contact : elles entraînent soit des *remontées capillaires* (mouvement vertical et horizontal) qui peuvent faire évoluer l'état du matériau (état plastique) et causer de graves altérations (effrittement des parties humides, creusement, effondrement, soit une *infiltration* par des fissures.

Action de la pluie : elle agit soit par *infiltration* dans les fissures existantes (érosion, creusement), soit par *absorption de surface* créant une humidité retenue en surface puis diffusée dans l'épaisseur du mur par capillarité : accentuation d'une pathologie humide.

- **Les conséquences de l'absorption** : diminution de la résistance mécanique et de l'isolation thermique, dégradation (surtout en cas de gel), gonflement-retrait du matériau (fissurations et infiltration), colonisation de flore parasite (mousses), effrittement par la cristallisation de sels déposés après évaporation.

c) La condensation : elle résulte de l'interaction du flux thermique et du flux hydrique quand la vapeur d'eau traversant un élément de construction est portée à son point de rosée. Mais l'apparition de condensation est une fonction complexe du gradient de t° de l'élément de construction, du gradient des pressions de vapeur (et donc du régime des t° et des pressions intérieures et extérieures) et bien sûr des caractéristiques des matériaux rencontrés au passage de la vapeur (mur, barrière isolante, lames d'air, etc...).

- **Les effets de la condensation** sont une humidification du matériau, souvent localisée, soit en surface (en paroi froide), soit à l'interface interne de différents matériaux (mur et isolant p.e.), soit dans l'épaisseur du matériau.

- **Les conséquences de la condensation** sont : une humidité localisée, un risque de dégradation et de parasitage de flore, une diminution de l'isolation thermique, une diminution locale de résistance mécanique, un risque de décollement d'enduit ou de peinture, un risque de gel suivi de gonflement-retrait (fissures).

d) Les forces dynamiques : elles agissent à l'intérieur des éléments de construction ou à leur jonction et de façon variable dans le temps, de façon directe ou indirecte. Elle proviennent généralement de vibrations, de mouvements dus à des variations de dilatation thermique ou hydrique, de l'impact de forces discontinues (chocs dus à la fermeture des ouvertures, claquement de volets mal accrochés, p.e.).

- **Les effets des forces dynamiques** : déconnection d'éléments de construction en liaison (poutre/mur, p.e.), fissures de retrait dues à des déplacements répétés d'éléments de construction ou à un dépassement de résistance, dégradations locales.

- **Les conséquences des forces dynamiques** : possibilité d'effondrement de parties de l'ouvrage, effrittement du matériau et risque d'infiltration, fissures et voies d'infiltration.

e) Les forces statiques : elles agissent à l'intérieur des éléments de construction ou à leur jonction et de façon directe ou indirecte : traction, flexion, cisaillement, compression, tassement, poinçonnement. Elles risquent d'entraîner une rupture

- **Les effets des forces statiques** : déconnexions d'éléments en liaison, fissures, effrittement.

- **Les conséquences des forces statiques** : possibilité d'effondrement, infiltration d'eau, érosion accentuée au droit des fissures et infiltration, dégradation.

IV – Le diagnostique préparant l'intervention

(voir série de dessins n° 5, et n° 6, référence bibliographique 4, 5 et 7 et 8).

La méthodologie de diagnostic que nous proposons est constituée de cinq étapes d'évaluation de l'état du bâtiment qui doivent permettre de dresser une analyse claire de la situation pathologique et donc d'orienter le choix des modes ou

solutions d'intervention pour les pratiques de restauration ou de construction actualisée (réhabilitation, constructions nouvelles).

Que ce soit pour la pathologie d'humidité ou pour la pathologie structurale, la méthode de diagnostic mettra en relation interactive l'ensemble des cinq étapes d'évaluation, permettant de cerner et d'analyser les problèmes et d'y répondre de la façon la plus juste possible, soit pour une première phase de suivi (monitoring) soit pour une intervention plus décisive (restauration ou construction actualisée).

Les cinq étapes de la méthodologie de diagnostic :

- 1 - Le relevé du bâtiment et la description des manifestations pathologiques ;
- 2 - La recherche des causes et de l'origine des causes des manifestations pathologiques avec l'énoncé d'observations ;
- 3 - L'évaluation des symptômes et leur analyse ;
- 4 - Les mesures à prendre pour un suivi de l'évolution des symptômes (monitoring) ou pour un traitement immédiat des pathologies observées ;
- 5 - Le diagnostic de pathologie humide et structurale : la mise en relation sous forme de fiches-diagnostic.

1 - Relevé de l'état du bâtiment (Voir série de dessins n° 5 et fiches-diagnostic, colonnes 1 et 2) : constat et évaluation des symptômes ou des manifestations pathologiques. Pour cette première étape, il convient d'adopter une attitude d'observation la plus neutre possible et de se garder de toute forme d'interprétation anticipée. Le relevé s'appuie sur la mise en évidence des désordres observés, par le dessin et la photographie. Une attention toute particulière doit être portée à l'échelle du relevé lorsque celui-ci est graphique, qui doit être unique pour les relevés d'ensemble et également unique (mais qui peut être différente), pour le relevé des détails. Il faut aussi prêter une grande attention à l'observation de l'environnement du bâtiment qui ne doit pas être considéré comme un objet isolé mais comme un élément d'un tout où les contraintes d'environnement physique et socio-culturelle, économiques, peuvent être agissantes (actions des êtres vivants notamment). Pour être complet, le relevé graphique, accompagné de photographie doit prendre en compte :

- a) L'étude de l'implantation du bâtiment sur le terrain

- situation de la parcelle, de l'îlot, voirie, limites et dimensions du terrain ;
- type de terrain (nature pédologique du sol et géologique du substratum), pente, niveau du terrain naturel par rapport à la construction, perméabilité, hauteur de la nappe phréatique, etc... ;
- accès au terrain: simple, double, particularités ;
- implantation de la construction sur le terrain et son orientation cardinale ;
- épaisseur de la construction, nombre de pièces traversantes ;
- alignement ou retrait par rapport aux autres constructions ou à la voirie ;
- mitoyennetés avec description des masses bâties voisines ;
- remarques sur l'environnement : présence de ruisseaux , de rivières, de mares, aménagements particuliers de voirie, de jardin, climatologie du lieu, type d'usage du bâtiment, etc...

- b) Les plans de la construction (rez-de chaussée ou de jardin, étages)

- disposition et implantation des murs porteurs extérieurs (gouttereaux et pignons), intérieurs (refends) et des cloisons de séparation des pièces ; description des matériaux de construction, types de protections de surface extérieures et intérieures (enduit, badigeon, peinture) ;
- repérage et dimensionnement des baies (portes et fenêtres) dans les différents murs extérieurs et intérieurs ;
- repérage des piliers, poteaux, colonnes, etc...
- escaliers extérieurs et cages d'escaliers intérieurs ;
- repérage des installations d'adduction ou d'évacuation des eaux (sanitaires et cuisines notamment) ;
- repérage en plan des fissures et des indices d'humidité.

- c) Les croquis de façades en mettant en évidence :

- les limites latérales et les mitoyennetés ;
- la disposition des baies et le rapport des pleins et des vides ;
- la disposition horizontale des étages (parfois marquée par des bandeaux, corniches) ;
- tous signes de caractérisation des matériaux employés (murs, tableaux d'ouvertures, menuiseries, enduits, etc... ;
- tous signes visibles de manifestations pathologiques (traces d'humidité, fissures, érosions, effritement, effondrements, etc...) et leur dimensionnement, leur description.

d) La composition des planchers (sur la base des relevés de plans)

- relevé et description du système constructif : poutres, solives, revêtements , description des matériaux ;
- repérage des intervalles structuraux (entre murs porteurs) et identification de la fonction structurale des murs ;
- précisions sur les portées et le sens de ces portées ;
- rôle des façades dans la structure d'ensemble des planchers (appui des poutres) ;
- éléments de structure et positionnement par rapport aux baies ;
- tous signes visibles d'altération.

e) Le plan de toiture

- type de toiture, description et croquis du système constructif ;
- identification des matériaux constitutifs ;
- vue en plan repérée par rapport aux murs périphériques et de refend ;
- description des situations particulières : noues par exemple ;
- hauteurs au faîtage, aux rives basses ;
- signes visibles d'altération (flèches, découvertes de la couverture, altérations diverses, pourrissements des éléments de construction, etc...) ;

f) Les coupes longitudinales et transversales (en dresser autant qu'il est nécessaire pour bien comprendre la structure du bâtiment).

- repérage des variations d'épaisseur des murs de façade et de refend ;
- repérage des éléments porteurs verticaux : piliers, poteaux, colonnes ;
- repérage des planchers et des systèmes constructifs de toiture, cotations de hauteur, dimensionnement des éléments constitutifs, description des matériaux ;
- repérage des baies et dimensionnement vertical, type de franchissement (linteaux, arcs) ;
- repérage de certains éléments du second oeuvre qui peuvent être à l'origine de désordres (gouttières, cheneaux, gargouilles, réseaux d'adduction ou d'évacuation des eaux, équipements sanitaires et de cuisine, cheminées,...) ;
- tous signes visibles de déformation des éléments et systèmes constructifs (déformation des murs, planchers, faux aplombs, flèches) et tous signes visibles d'humidité.

g) Les détails constructifs et architecturaux : tous types de détails, particulièrement ceux marqués par une pathologie d'humidité ou structurale visible.

Cette première phase de relevé est accompagnée d'une description écrite des manifestations des désordres observés. Il faut autant que faire se peut distinguer les désordres liés aux problèmes d'humidité de ceux liés aux problèmes de structure même si ceux-ci peuvent être corélatifs. Cette description des manifestations doit mettre en évidence toutes les situations pathologiques, tout en les distinguant clairement : érosion de surface (uniforme ou différentielle) ; érosion localisée (à la base des murs, au sommet des murs) ; décomposition du matériau ; fissures (macro fissures ou microfissures) ; humidité de surface ou de profondeur (permanente, temporaire ou cyclique) ; tâches (ruissellement, sels, bistre, ...) ; parasites (moisissures, champignons, mousses, ...) ; défaillances de la protection de surface extérieure ou intérieure, localisée ou uniforme ; gonflements du matériau, arrachements, effritements, affaiblissement de la structure, effondrement de parties, flambement, tassements, etc...

2 - Recherche des causes et de l'origine des causes des manifestations pathologiques

(Voir fiches-diagnostic, colonnes 3 et 4 et référence bibliographique 5)

Dans cette deuxième étape de la méthodologie de diagnostic, on veillera, toujours sans anticiper sur l'interprétation, à rechercher et décrire les causes des manifestations pathologiques, avec leurs origines, en distinguant si possible :

- les causes et leurs origines extérieures ;
- les causes et leurs origines inhérentes au bâtiment lui-même ;
- les causes et leurs origines liées à l'utilisation du bâtiment .

a) Les causes et leurs origines extérieures :

a1 - La Pathologie humide :

- L'eau :
- La pluie : impact, ruissellement, érosion différentielle, rejaillissement, infiltration ;

- L'apport d'eau extérieur : rupture de canalisations ou d'installations techniques, cours d'eau, eau de surface, source, mare, eaux stagnantes, nettoyage, inondations ;
- L'influence de la nappe phréatique (hauteur, variations) ;
- La stagnation de neige, la présence de glace, l'infiltration après leur fonte ;
- La stagnation d'eau dans le voisinage ;

- Les aspersion, jets d'eau, gouttes ;
- La présence d'humidité.

- L'air :

- Le vent : érosion éolienne, les chocs de matières abrasives ou d'objets transportés, la pluie rabattue par les vent et l'infiltration activée par le vent (façades très exposées aux vents dominants) ;
- La ventilation ;
- Les facteurs extérieurs de pression ou de succion (toitures notamment).

- La température, l'humidité relative et la perméabilité à la vapeur :

- type de chauffage du bâtiment, chauffage des pièces, actions saisonnières du chauffage ;
- blocage de la respiration des murs, blocage de la ventilation ;
- modifications d'isolation thermique, pose de pare-vapeur ;
- condensations de surface, condensations internes ;
- cycles de condensation et d'évaporation ;
- cycle de mouillage-séchage et de gel-dégel ;
- ponts thermiques ;
- hygroscopicité et dilatation thermique du matériau ;
- chocs thermiques.

- présence de sels :

- cristallisation ;
- corrosion.

a2 - La Pathologie structurale

- Fissures :

- macrofissures ;
- microfissures.
- Affaissements ;
- Tassements différentiels ;
- Déplacements d'éléments de construction ;
- Flambement ;
- Effondrements localisés ou de parties ;
- Effritements.

a3 - Autres causes (plus typiquement liées à la terre) :

- Dégradations de nature biologique :

- actions d'insectes (nidations d'abeilles, de guêpes) ;
- actions d'animaux (nidations d'oiseaux, creusements de rongeurs, érosions d'animaux domestiques) ;
- actions des plantes (végétation florale ou arbustive environnante à la base des murs, végétation de surface (plantes grimpantes).
- Activités humaines :
- travaux d'aménagements périphériques, de jardinage ;
- aménagements du territoire : nivellements, creusements, rehaussement de voiries ;
- chocs accidentels ou dégradations ;
- mauvaise utilisation de certains éléments constitutifs du bâtiment ;
- entretien défaillant du bâtiment.

b) Les causes et leurs origines inhérentes au bâtiment lui même

- la qualité du matériau de construction utilisée : type de terre, sa composition, sa proportion d'argile ;
- la mise en oeuvre du matériau ;
- le processus de production du matériau ;
- le processus de construction.

c) Les causes et leurs origines liées à l'utilisation du bâtiment

- le mode de vie des habitants ou utilisateurs ;
- les transformations du bâtiment : évolution de structure, de morphologie ;
- l'entretien du bâtiment.

Toute cette recherche des causes des manifestations pathologiques et de leurs origines est accompagnée de descriptions détaillée, le plus clairement formulées, qui permettent d'avancer vers la troisième étape : l'évaluation des symptômes et leur analyse.

3 - L'évaluation des symptômes et leur analyse

(Voir fiches-diagnostic, colonne 5).

L'évaluation des symptômes et leur analyse est une phase décisive du diagnostic pathologique. Pour cette troisième phase, il est notamment important d'établir une claire distinction entre les différents types de désordres observés et analysés car cette distinction va ensuite guider vers le choix des modes et solutions d'intervention ou de mesures à prendre. Il faut notamment veiller à évaluer et analyser les symptômes en établissant un classement qui précise par ordre décroissant l'importance des pathologies et l'urgence des interventions ou mesures à prendre. Il importe ici de rappeler que la valeur scientifique de cette évaluation et de l'analyse doit être garantie mais que tout jugement, voire analyse, peuvent laisser place à un arbitraire. Il faut donc autant que faire se peut se préserver de cet arbitraire et ne baser cette évaluation et cette analyse que sur des certitudes. Les hypothèses et doutes qui pourraient demeurer doivent faire l'objet d'une démarche de recherche plus poussée.

Pour orienter efficacement le choix des modes d'intervention et des mesures de traitement des pathologies, il convient de distinguer clairement :

- 1 - Les désordres qui mettent en cause la stabilité ou le maintien en état du bâtiment dont le traitement doit être le plus rapide possible ;
- 2 - Les désordres qui mettent en cause la stabilité ou le maintien de particularités spécifiques du bâtiment (les aspects techniques ou constructifs ne sont pas les seuls à devoir être pris en compte mais aussi la valeur historique ou culturelle de l'ouvrage, par exemple)
- 3 - Les désordres sans conséquences immédiates ou à court terme pour le bâtiment dont le traitement peut être différé.

4 - Les mesures à prendre pour un suivi de l'évolution des symptômes (monitoring) ou pour un traitement immédiat des pathologies observées

(Voir Fiches-diagnostic, colonne 6).

Le choix des mesures à prendre vise ici une stabilisation ou la résorption des pathologies observées par un traitement immédiat ou différé selon l'importance et l'urgence de ces pathologies. Le choix de ces mesures doit être établi sur une recherche préalable des solutions d'intervention qui doit se baser sur :

- 1 - Un inventaire des principes de solutions ;
- 2 - Une évaluation des principes de solutions ;
- 3 - Le développement des solutions à partir des principes retenus.

Ces mesures doivent être accompagnées de recommandations concernant :

- 1 - Les remèdes a priori : dispositions constructives à adopter ;
- 2 - Les actions à éviter qui pourraient accentuer les pathologies ou accélérer les processus déjà observés ;
- 3 - Les remèdes a posteriori : techniques d'intervention.

Concernant les mesures d'urgence, il est possible, dans la mesure où le bâtiment n'est pas extrêmement menacé, de prévoir la mise en oeuvre de solutions temporaires.

Le choix des solutions d'intervention doit être suivi d'une intervention concrète et peut faire l'objet d'un suivi ou d'un monitoring visant à évaluer les mesures temporaires ou immédiatement prises. Ce monitoring, lorsqu'il est possible de le mettre en oeuvre, suivi de l'évaluation des mesures, sera particulièrement utile pour engager un processus plus efficace de restauration ou de construction actualisée car il peut fournir des informations jusqu'alors cachées.

Enfin, l'intervention qui suit le choix des solutions doit être accompagnée d'un planning et de conseils d'intervention et d'entretien.

5 - Le diagnostic de pathologie humide et structurale : la mise en relation sous forme de fiches-diagnostique.

Le diagnostic de la pathologie d'humidité et structurale doit être synthétisé de la façon la plus claire possible, en clarifiant notamment l'expression des manifestations pathologiques, des causes et de leurs origines, de l'évaluation des symptômes et de leur analyse et des mesures à prendre. Cette synthèse du diagnostic peut faire l'objet de fiches-diagnostic dont nous proposons ici un modèle (référence bibliographique 4). Ces fiches, pour leur clarté d'expression, ne peuvent exprimer toute la complexité de la méthodologie d'analyse et de diagnostic et des nombreux paramètres qui ont été pris en compte avant leur établissement. Elles sont faites pour donner la meilleure clarté possible de lecture et de compréhension du diagnostic pathologique et pour structurer le choix des modes de traitement. Pour un projet plus complet et décisif d'intervention (restauration ou construction actualisée), on se reportera aux éléments de méthode et de propositions de la dernière partie de cette communication (chapitre V, suivant).

V – Aide à la restauration ou à la construction actualisée

(Voir série de dessins n° 7 et référence bibliographique 6).

Cette méthodologie d'aide à la restauration des ouvrages ou à la construction actualisée (réhabilitation ou même projet de nouvelles constructions utilisant le matériau terre), a été établie dans le cadre d'une recherche prolongeant des recherches antérieures menées sur la méthodologie de diagnostic de la pathologie d'humidité et structurale. Elle est une suite logique tournée vers l'intervention "raisonnée". Cette recherche intitulée "Approche Scientifique et Technique du Matériau Terre" était menée dans le cadre d'un contrat pluriannuel engagé avec le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, CSTB, qui est en France chargé d'établir les recommandations, règles de l'art de bâtir et normes de la construction ainsi que d'une recherche-développement sur les matériaux et solutions constructives. Ce volet spécifique sur "les dispositions constructives et leur modes de mise en oeuvre" du matériau terre était confié par le CSTB au CRATerre, groupe de recherche spécialisé sur ce matériau.

La méthodologie d'intervention

La méthodologie d'intervention met en relation trois ensembles de paramètres :

1 - Les éléments distincts de la construction des ouvrages :

- Fondations ;
- Soubassement ;
- Mur ;
- Ouverture ;
- Pavement ou sol ;
- Plancher ;
- Toiture ;
- Escalier ;
- Ossature.

2 - Les cinq critères ou agents de dégradation typés :

- L'érosion ;
- L'absorption ;
- La condensation ;

- Les forces dynamiques ;
- Les forces statiques.

3 - La constitution de la structure :

- Maçonnerie, blocs de terre comprimée, blocs moulés d'adobe) :
 - protégée ;
 - non protégée.
- Structure monolithique, terre compactée ou "pisé", terre empilée ou "bauge" :
 - protégée ;
 - non protégée.
- Structure composite, colombage et remplissage en "torchis" :
 - protégée ;
 - non protégée.

La mise en relation de ces trois ensembles de paramètres s'organise autour de l'axe central défini par le deuxième ensemble, celui des principaux critères ou agents de dégradation qui sont à l'origine des manifestations pathologiques les plus typées que l'on décrivait précédemment (chapitre III). Pour chacun de ces cinq principaux critères ou agents de dégradation, les éléments de construction (premier ensemble de paramètres) sont combinés entre eux car on a pu observer que les pathologies les plus typées n'affectent pas toujours les éléments de construction de façon isolée mais des combinaisons d'éléments.

Ainsi, la méthodologie d'intervention distingue des systèmes d'éléments qui doivent être traités ou pour lesquels il convient de mettre en oeuvre des solutions de traitement. Ces systèmes sont principalement les suivants :

- 1 - Le système Fondation - Soubassement - Mur ;
- 2 - Le système Soubassement - Mur (les fondations n'étant pas affectées) ;
- 3 - Le système Fondations - Soubassement - Mur - Pavement - Plancher ;
- 4 - Le système Soubassement - Mur - Pavement - Plancher (les fondations n'étant pas affectées) ;
- 5 - Le système Mur, qui peut être isolé (lorsque la base et le haut des murs ne sont pas affectés) ;
- 6 - Le système Mur - Ouverture (portes et fenêtres) ;
- 7 - Le système Mur - Plancher ;
- 7 - Le système Mur - Toiture ;
- 8 - Le système Mur - Escalier (escaliers extérieurs notamment) ;
- 9 - Le système Mur - Ossature (pour les structures mixtes notamment).

Pour chacun de ces systèmes d'éléments de construction combinés ou isolés et en fonction des cinq critères ou agents de dégradation, les solutions proposées pour résoudre les problèmes pathologiques observés peuvent varier selon le troisième ensemble de paramètres, la constitution de la structure en maçonnerie, monolithique ou mixte, protégée ou non protégée. Ainsi, un ensemble de 108 fiches types ont été préparées qui constituent un guide d'intervention pour une restauration ou une construction actualisée des ouvrages en terre. Les solutions proposées ne peuvent bien sûr pas entrer dans des détails concernant le choix final de certains types de matériaux et s'en tiennent principalement à des principes de solutions constructives mais ces principes de solutions sont accompagnés de conseils sur ce qu'il faut éviter de faire qui permettent déjà de choisir les solutions de façon assez fine ainsi que les matériaux et les techniques de l'exécution.

On se reportera ici, à quelques exemples de ces fiches d'aide à la restauration ou à la construction actualisée qui décrivent ces "dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre" (voir série de dessins n° 7).

VI - Conclusion

Quelle attitude avoir ?

Nous avons vu que les problèmes de pathologie de la construction en terre, bien que souvent typés, demeurent finalement très complexes à analyser en vue d'établir un diagnostic qui fonde le choix des modes, solutions et techniques d'intervention visant à préserver, restaurer ou réhabiliter une construction. Dans sa confrontation à l'évidence de problèmes identifiés comme étant de nature "technique", l'opérateur aura tendance à rechercher des solutions "techniques". Il faudra bien intervenir sur l'ensemble des mécanismes et des effets des pathologies d'humidité et

structurale mais il ne faudra jamais trop se hâter de prendre des décisions techniques sans avoir au préalable posé un diagnostic précis des origines et des causes des phénomènes pathologiques observés. La démarche est ici comparable à celle de la médecine car il s'agit bien de remédier, de soigner. Mais je dirai que dans ce cas, même si la technique de diagnostic et de soin est un moyen décisif pour engager un traitement, elle doit être employée avec précaution et surtout en adoptant une attitude qui sait associer la démarche du "spécialiste" à celle du "généraliste". Le "corps" bâtiment, comme le "corps" humain, a son histoire et vit avec son environnement. Il ne suffira parfois pas seulement d'écarter la présence de l'eau et de l'humidité, de palier les causes des désordres de structure par des traitements techniques pour résoudre les problèmes. Si l'on peut considérer qu'il y a une méthodologie d'observation, d'analyse-diagnostic et d'intervention, on doit aussi considérer qu'il n'y a pas véritablement de "solution" ou de "médecine" miracle même si certains modes d'intervention sont éprouvés et sont solidement étayés par une réflexion et une démarche scientifique. Il y a d'abord une "attitude d'esprit" à adopter qui relèverait davantage d'une "philosophie".

Face à la question de la restauration ou de la réhabilitation d'un ouvrage, l'opérateur doit avant tout tenir compte des caractéristiques propres du matériau et renouer avec une "intelligence constructive" qui associe le savoir et donc la "culture constructive" et le savoir-faire et donc l'expérience (si ce n'est la sienne propre, au moins celle des autres qui doit être connue). Car, on constate souvent, aujourd'hui, que le "savoir bien restaurer" ou même le "savoir bien construire", en terre, en briques cuites ou même en pierre, est éclipsé par un "savoir blinder", un "savoir protéger" qui procède plus de la chirurgie esthétique et de la réalisation de costumes cache-misère. Ainsi, le savoir qui vise à accroître la résistance du "matériau" (surprotection) se substitue à un savoir qui consiste à rendre le "bâtiment" résistant. Mais il est vrai que cette dernière démarche ne peut être entreprise dans le seul espace du "laboratoire" qui se limite trop souvent à intervenir sur le seul matériau, ignorant la dimension du mur, des systèmes constructifs et plus largement du bâtiment dans sa globalité. Une telle démarche s'inscrit dans la dimension du terrain, du bâtiment en situation interactive avec l'environnement historique, culturel, social, économique, technique et doit mobiliser de la part de l'opérateur une "intelligence constructive et architecturale", c'est à dire beaucoup plus que la seule ingénierie technique.

Nous conclurons notre propos à deux niveaux.

- D'une part en nous remémorisant le dicton déjà évoqué du Devon, en Angleterre, qui déclare, pour les constructions en terre, qu'elles n'ont besoin que "d'un bon chapeau et de bonnes bottes". Ce bon sens populaire est effectivement d'une efficacité certaine et traduit l'évidence d'un savoir et d'un savoir-faire que les constructeurs en terre de toutes les régions du monde ont généralement adopté. Mais il faut aussi relever toute l'importance du détail constructif et architectural qui est souvent chargé de sens, au-delà des préoccupations esthétisantes, car, le détail apporte d'autres réponses, le plus souvent aux actions de l'environnement physique et vivant. Pour exemple, l'architecture en terre marocaine dont nous donnons ici un dessin théorique qui traduit la démarche constructive et architecturale intelligente du bâtisseur traditionnel, mérite réflexion (voir dessin n°8 et références bibliographiques 2 et 3).

- D'autre part en faisant acte de modestie, car la méthodologie que nous avons proposé mérite encore d'être associée à d'autres recherches pour être plus performante et dépasser justement le seul niveau technicien que l'on évoquait. La recherche doit être poussée pour mieux intégrer la dimension des facteurs de l'environnement physique et vivant du bâtiment en adoptant une attitude méthodologique qui relève davantage du domaine des sciences sociale et humaines que des seules sciences de la technique. le Projet "GAIA" sur la "Préservation des Architectures de Terre" (1989-1994), conjointement lancé par l'ICCROM et le CRATerre a défini un volet Recherche qui devrait accueillir le développement de tels axes. Néanmoins, certains aspects de la méthodologie que nous avons présenté, nous le pensons, sont déjà modélisables et peuvent apporter des éléments utiles aux opérateurs qui interviennent sur la construction en terre mais aussi sur des constructions réalisées en d'autres matériaux. Laissons à chacun la possibilité d'y trouver une utilité mais rappelons à chacun l'importance de l'attitude scientifique (recherche) associée à celle du praticien, de l'architecte et du médecin généraliste fondée sur un préalable nécessaire : la connaissance de l'anatomie du "corps" du bâtiment comme du "corps" humain, de leur fonctionnement et de leur respiration avec l'environnement.

Bibliographie

Houben et Guillaud 1989 : HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert - *Traité de Construction en Terre*, Editions Parenthèses, Marseille, 1989, 355 p.

Doat et al. 1983 : DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, et GAITerre, LARAKI, Malak, KERGREIS, Michel, HMAMI, Jamaldine, BOULALI, Mohamed, KABBAJ, Amine et LATIFI, Abdel Malek, *Marakech 83, Habitat en Terre*, Rexcoop-Plan-Construction, Editions CRATerre, Grenoble, 1983, 232 p.

Guillaud et al. 1987 : GUILLAUD, Hubert, DOAT, Patrice, ESTEVE, Josep, ROLLET, Pascal, DA SILVA, Helio - *Marrakech 87 Habitat en Terre*, Editions CRATerre, Grenoble, 1987, 253 p.

Ramirez 1992 : RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre, diagnostic*, mémoire de Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture de terre, CEEA-Terre CRATerre-EAG 1987-89, sous la direction de GUILLAUD, Hubert, mars 1992, 76 p.

Odul 1990: ODUL, Pascal - *Humidity Pathology of Earth Construction : Methodology for Diagnosis, Recommendations and Intervention Techniques*, Communication scientifique, 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, New Mexico, USA, Octobre 1990, in Adobe 90 Preprints, Editions du Getty Conservation Institute - Museum of New Mexico State Monuments, ICCROM, CRATerre-EAG et National Park Service, Southwest Region, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 404-413.

Odul et al 1986 : ODUL, Pascal et GUILLAUD, Hubert (Direction Scientifique), DOAT, Patrice, HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric - *Approche Scientifique et Technique du Matériau Terre, Dispositions Constructives et leurs Modes de Mise en Oeuvre*, Editions CRATerre, Villefontaine, avril 1986, 304 p., pp. 147-269.

Guillaud et al. 1984 : GUILLAUD, Hubert et HENRY, Nicole et ADRA, Association Dauphinoise de Recherches Anthropologiques, BARDAGOT, Anne-Monique et SABATIER, Nathalie - *Pour une Etude Raisonnée des Architectures en Pisé*, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Secrétariat de la Recherche Architecturale, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Editions CRATerre-AGRA, Association Grenobloise de Recherche Architecturale, EAG, Grenoble, 1984, 361 p., pp. 300-361.

Aleman Andrade 1990 : ALEMANE ANDRADE, Ruth Marcela, (Direction Scientifique, Prof. Dr. R.M. LEMAIRE), *Méthode d'intervention pour la conservation des architectures de terre*, mémoire de la KU Leuven, Centre d'Etudes pour la Conservation du Patrimoine Architectural et Urbain, Leuven, année 1989-90, 96 p.

CAUE de l'AIN et al. 1983 : Conseil d'Architecture d'Urbanisme et d'Environnement de l'Ain, SINGIER, Nicole, CRATerre, GUILLAUD, Hubert, COSSON, Bernadette, DAYRE, Michel, CAMPAGNOLI, Philippe, CONSIGNY, Olivier, et Groupe Pisé, BALAS, Gilles, BERNARD, Marcel, BOURGIN, Joëlle, MEGARD, Christophe, MONNIER, Claire et LANDRY, Patrick - *L'Architecture de Terre, Bâtiments Caractéristiques de la Région Rhône-Alpes*, Editions SME Resonances, Lyon, 1983, 159 p.

Alva et al. 1990 : ALVA, Alejandro, DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, JOFFROY, Thierry, ODUL, Pascal, TEUTONICO, Jeanne-Marie et TRAPPENIERS, Marina - *Préservation du Patrimoine Architectural en Terre : Le Projet GAIA*, in Chronique 16 de l'ICCROM, Juin 1990, pp. 9-11.

Doat et al. 1990 : DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, JOFFROY, Thierry, MAINI, Serge, ODUL, Pascal, ROLLET, Pascal et VITOUX, François - *Erosion des murs en terre*, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Secrétariat de la Recherche Architecturale, Ministère de l'Equipement, du Logement et de la Mer, Editions CRATerre-EAG, Grenoble, 1990, 104 p.

Guillaud 1990 : GUILLAUD, Hubert - *La Terre Crue, des matériaux, des techniques et des savoir-faire au service de nouvelles applications architecturales*, Encyclopédie du Bâtiment, mise au courant n° 46, Editions Techniques, Editions Eyrolles, Paris, 1990, 66 p.

Houben et Guillaud 1984 : HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert - *Earth Construction Primer*, Volume 8, International Colloquium on Earth Construction Technologies Appropriate To Developing Countries, Bruxelles, décembre 1984, Editions UNCHS-Habitat, 1984, 359 p.

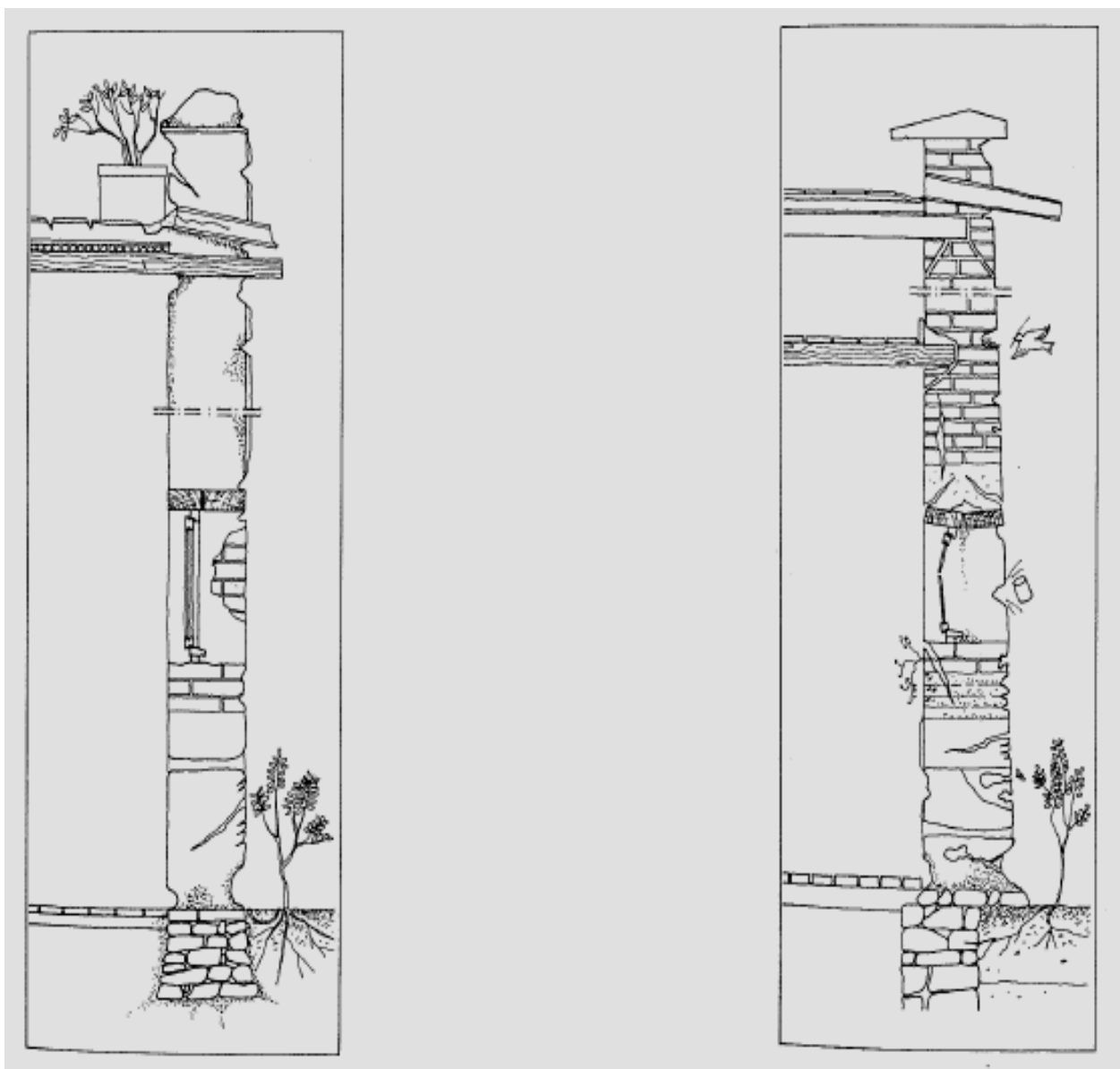
ANNEXES : ILLUSTRATIONS

- Dessin n° 1 : Coupe verticale théorique, manifestations typées de la pathologie humide des constructions en terre, référence bibliographique 1
- Série de dessins n° 2, mécanismes et effets de la pathologie d'humidité sur les constructions en terre, dessins théoriques sur observations menées au Maroc, référence bibliographique 2 et 3.
- Dessin n° 3 : Coupe verticale théorique, manifestations typées de la pathologie structurale des constructions en terre, référence bibliographique 1.
- Série de dessins n° 4, dessins théoriques des mécanismes et effets des principaux agents de dégradation : l'érosion, l'absorption, la condensation, les forces dynamiques et les forces statiques.
- Série de dessins n° 5, éléments de relevés de bâtiments en pisé dans la région Rhône-Alpes, Plans, Façades, Coupes, Détails constructifs et architecturaux, référence bibliographique 7.
- Série n° 6 de fiches-diagnostic de la pathologie d'humidité et de la pathologie structurale des constructions en terre, référence bibliographique 4.
- Série n° 7 de fiches d'aide à l'intervention, problèmes et solutions, principes de dispositions constructives et architecturales, référence bibliographique 6.
- Dessin n° 8 : le savoir-faire des bâtisseurs en terre marocains, dessin théorique des bonnes dispositions constructives et architecturales.

ILLUSTRATIONS

(dessins n° 1 et n° 3, chapitres I et II)

Réf.: HOUBEN, H. et GUILLAUD, H. - *Traité de Construction en Terre*, 1989



PATHOLOGIE D'HUMIDITE

(COUPE VERTICALE THEORIQUE)

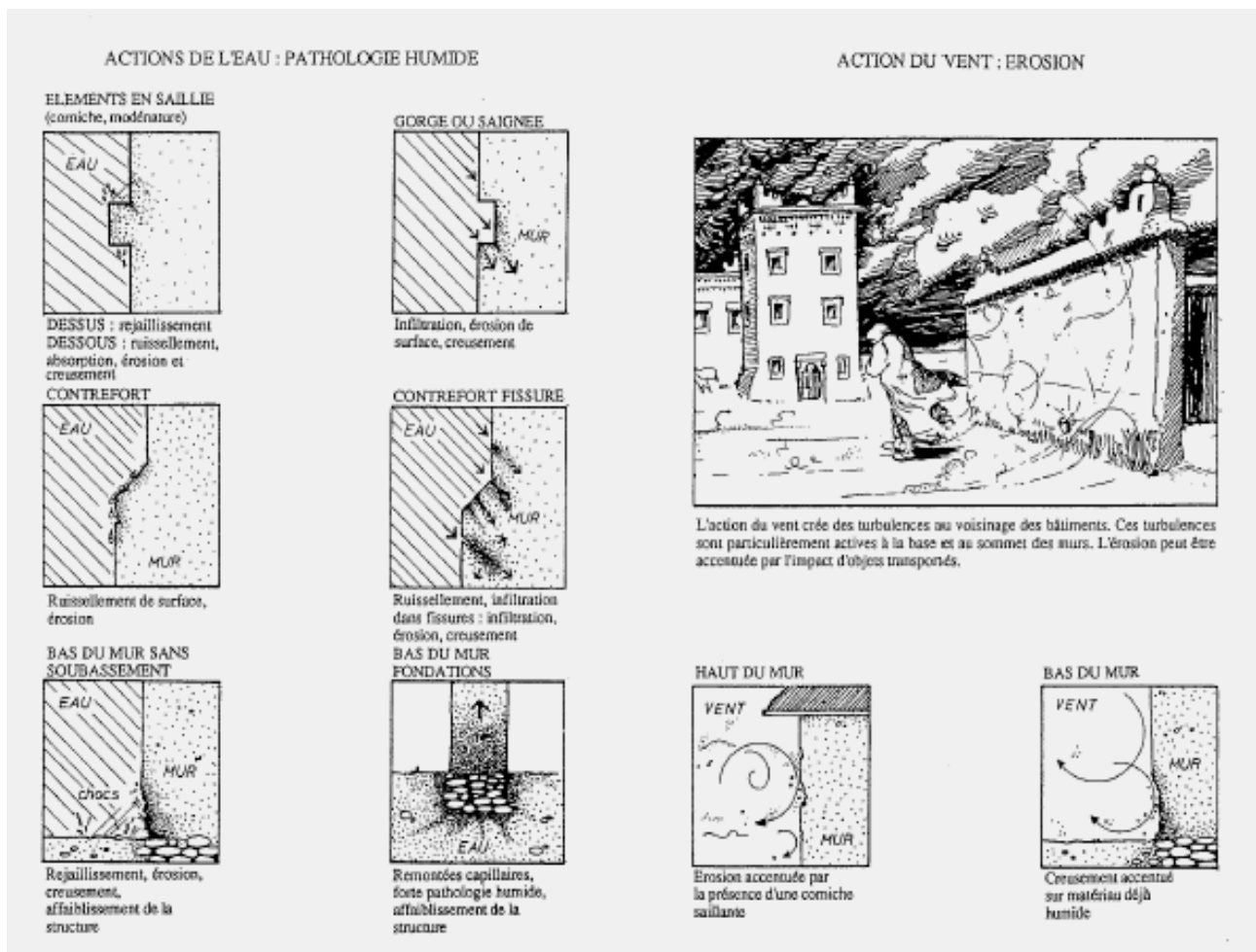
PATHOLOGIE STRUCTURALE

(COUPE VERTICALE THEORIQUE)

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 2, chapitres I, I.3.)
Réf.: CRATerre et GAITerre - Marrakech 83, *Habitat en Terre*, 1983
Réf.: GUILLAUD, H. et al - Marrakech 87, *Habitat en Terre*, 1987

MECANISMES ET EFFETS DE LA PATHOLOGIE D'HUMIDITE



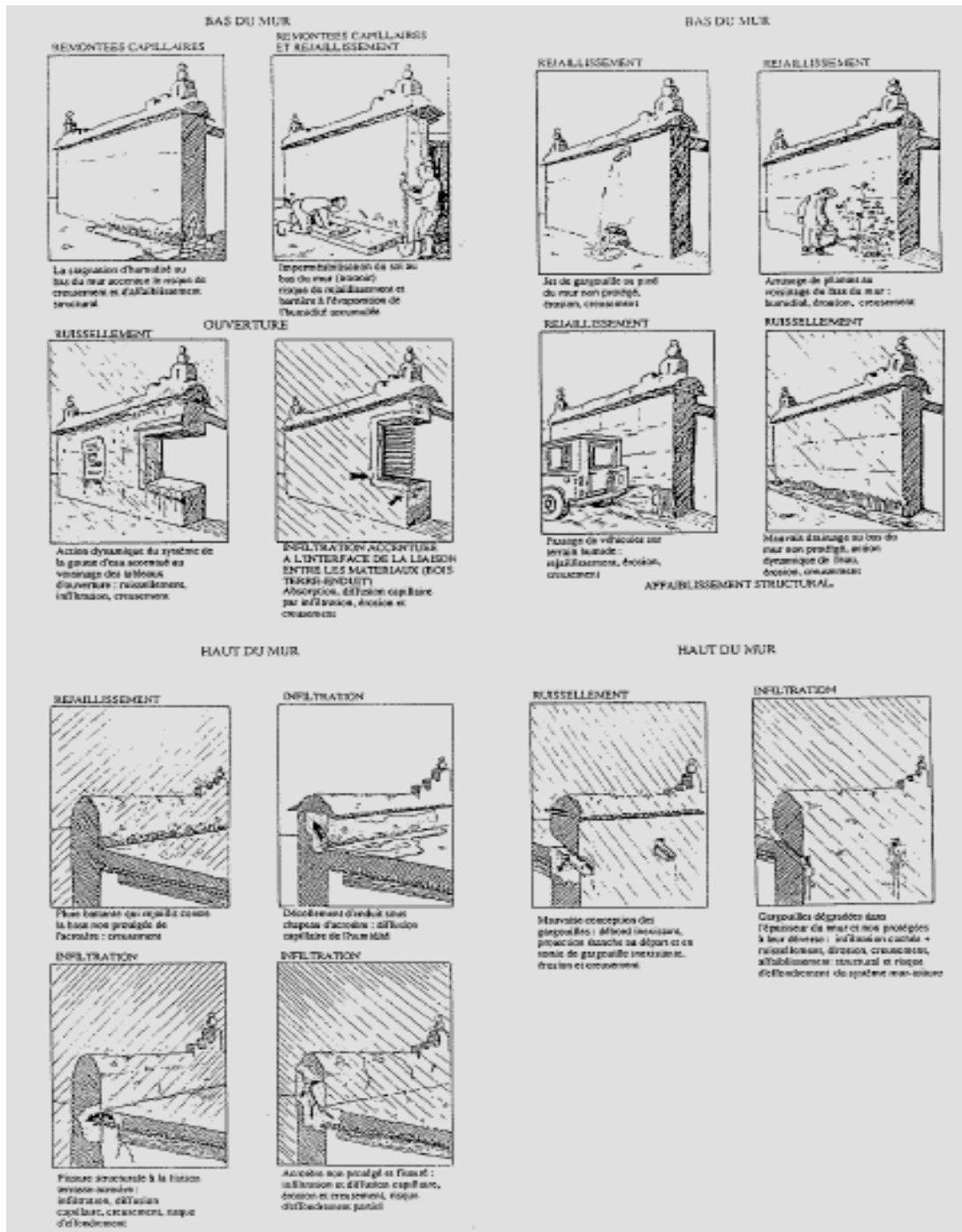
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 2, chapitres I, I.3.)

Réf.: CRATerre et GAITerre - Marrakech 83, Habitat en Terre, 1983.

Réf.: GUILLAUD, H. et al. - Marrakech 87, Habitat en Terre, 1987.

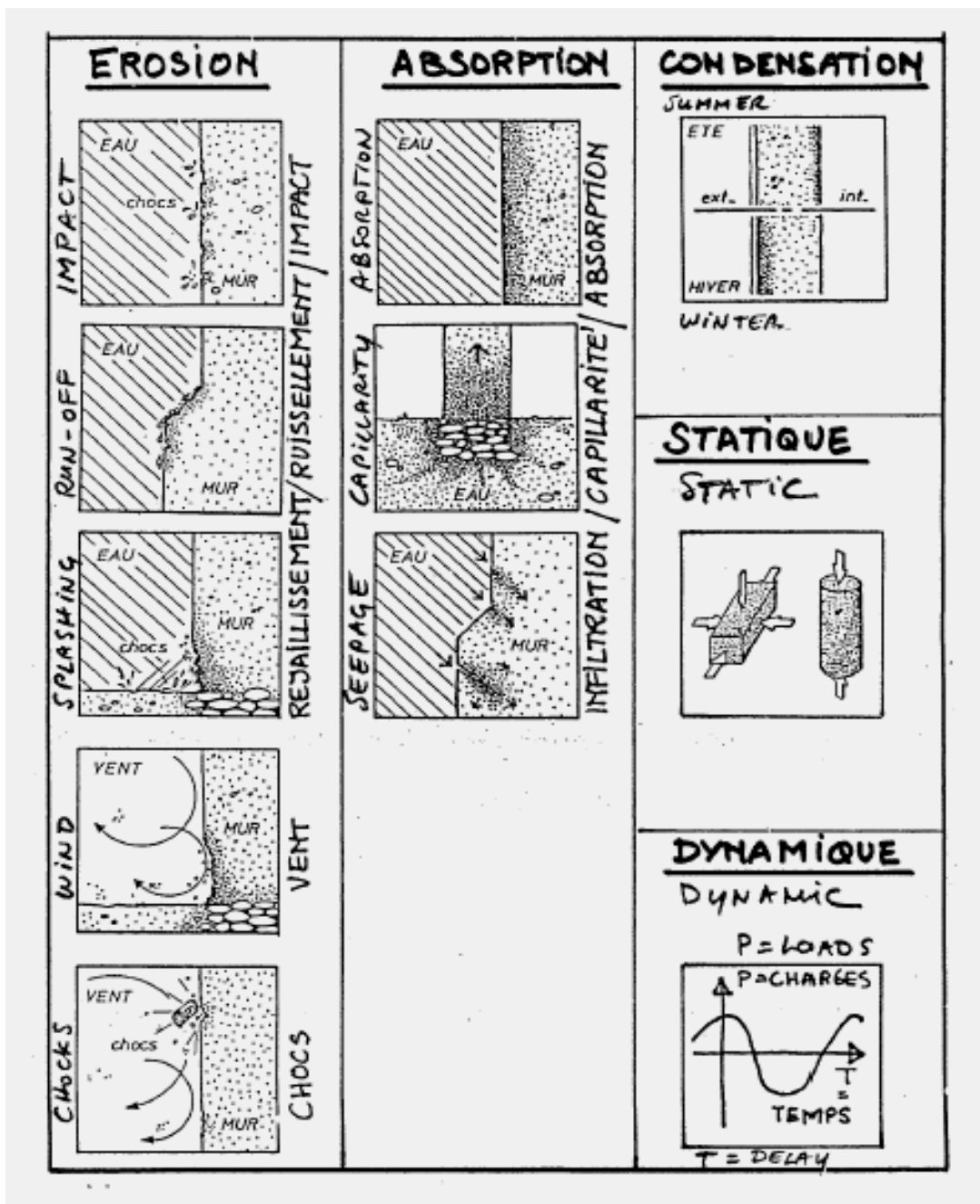
MECANISMES ET EFFETS DE LA PATHOLOGIE D'HUMIDITE



ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 4, chapitres III)
 Réf.: CRATerre et GAITerre - Marrakech 83, Habitat en Terre, 1983.
 Réf.: GUILLAUD, H. et al. - Marrakech 87, Habitat en Terre, 1987.

MECANISMES ET EFFETS DES CINQ PRINCIPAUX AGENTS DE DEGRADATION
 L'EROSION, L'ABSORPTION, LA CONDENSATION, LES FORCES STATIQUES
 ET LES FORCES DYNAMIQUES



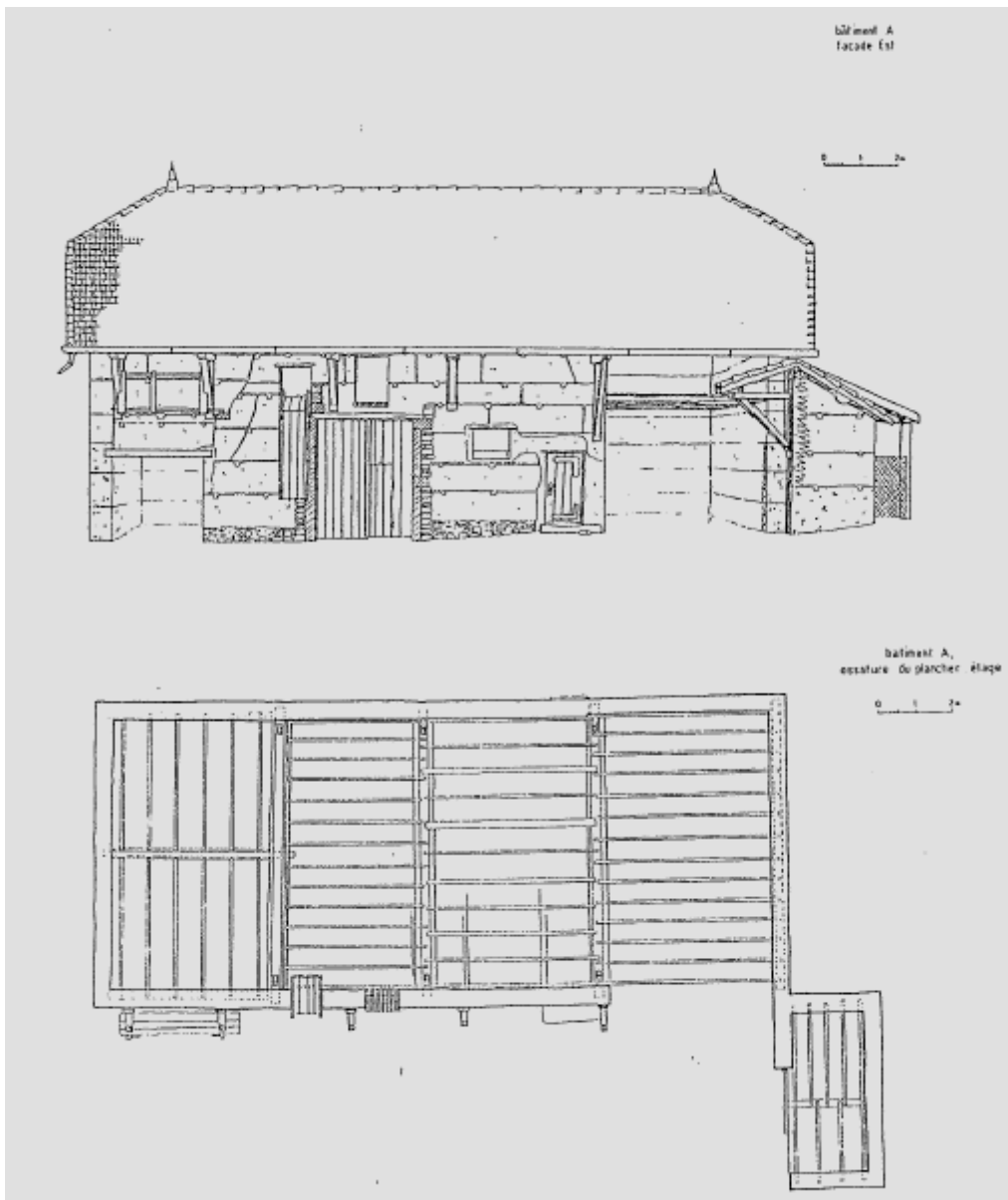
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: GUILLAUD, H. et HENRY, N. - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé*, 1984

RELEVÉ DE BATIMENT EN PISE, REGION RHONE-ALPES

Exemple d'une façade et d'un plan de plancher



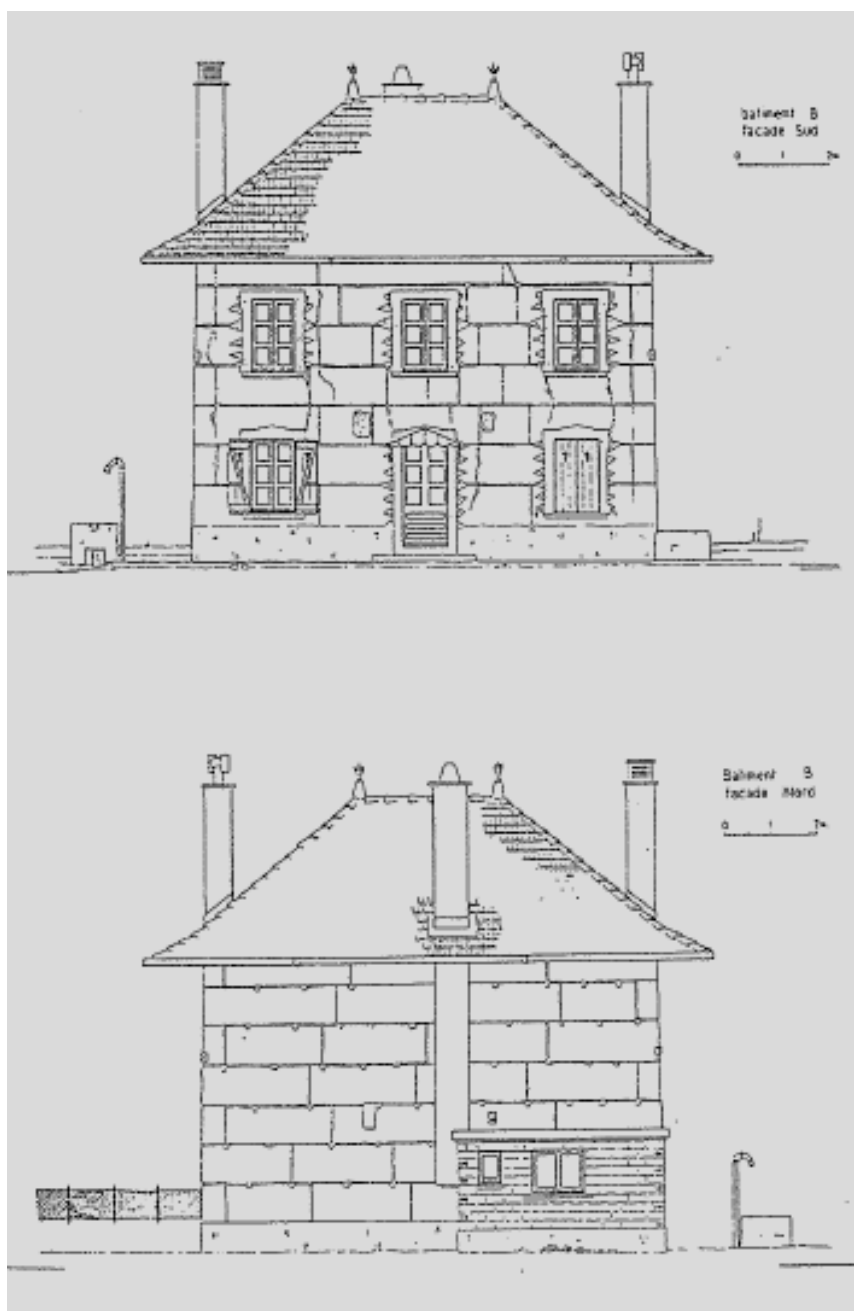
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: GUILLAUD, H. et HENRY, N. - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé*, 1984

RELEVÉ DE BATIMENT EN PISE, REGION RHONE-ALPES

Exemple de façades



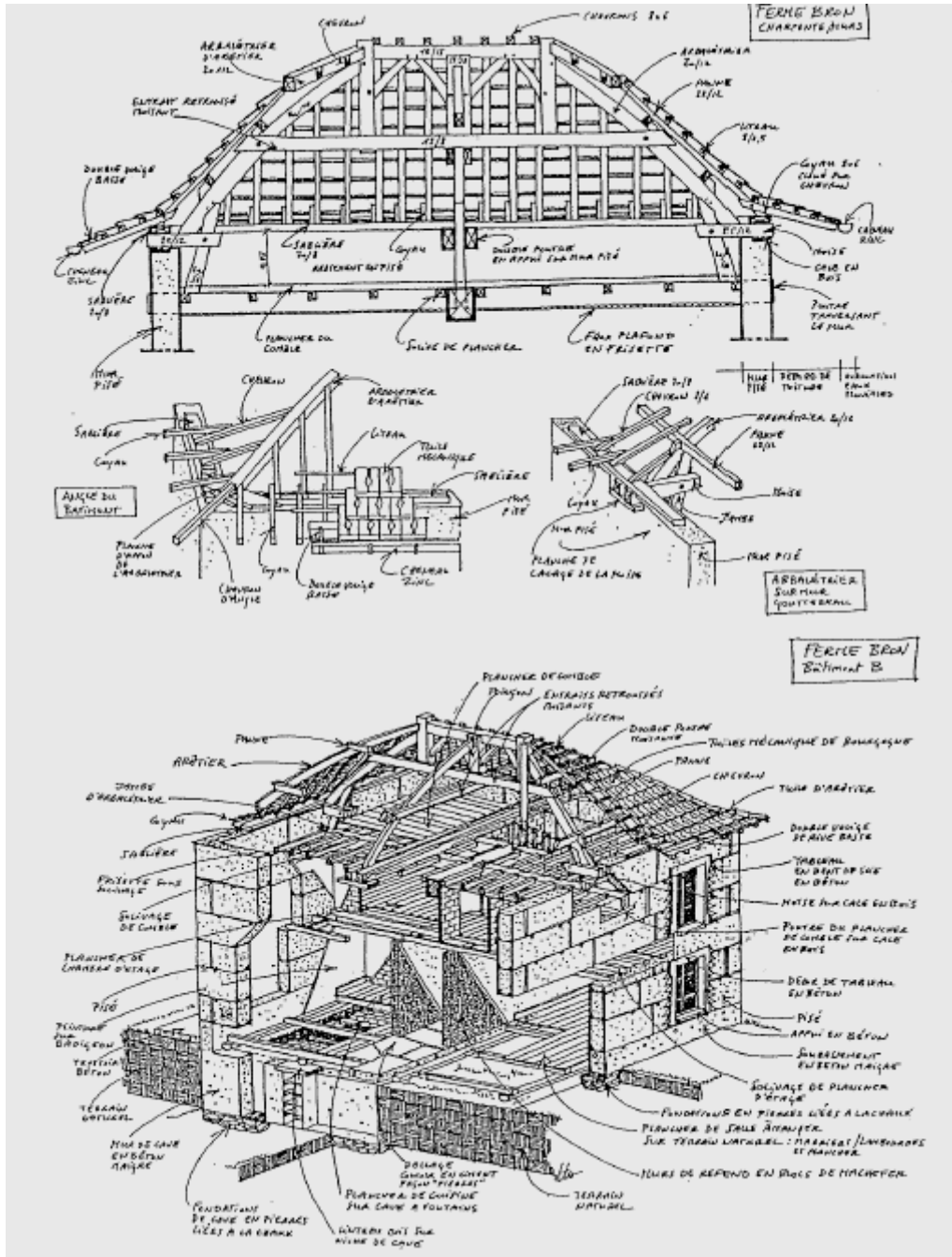
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: GUILLAUD, H. et HENRY, N. - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé*, 1984

RELEVÉ DE BATIMENT EN PISE, REGION RHONE-ALPES

Exemple de charpente et tous systèmes constructifs (dessin éclaté)



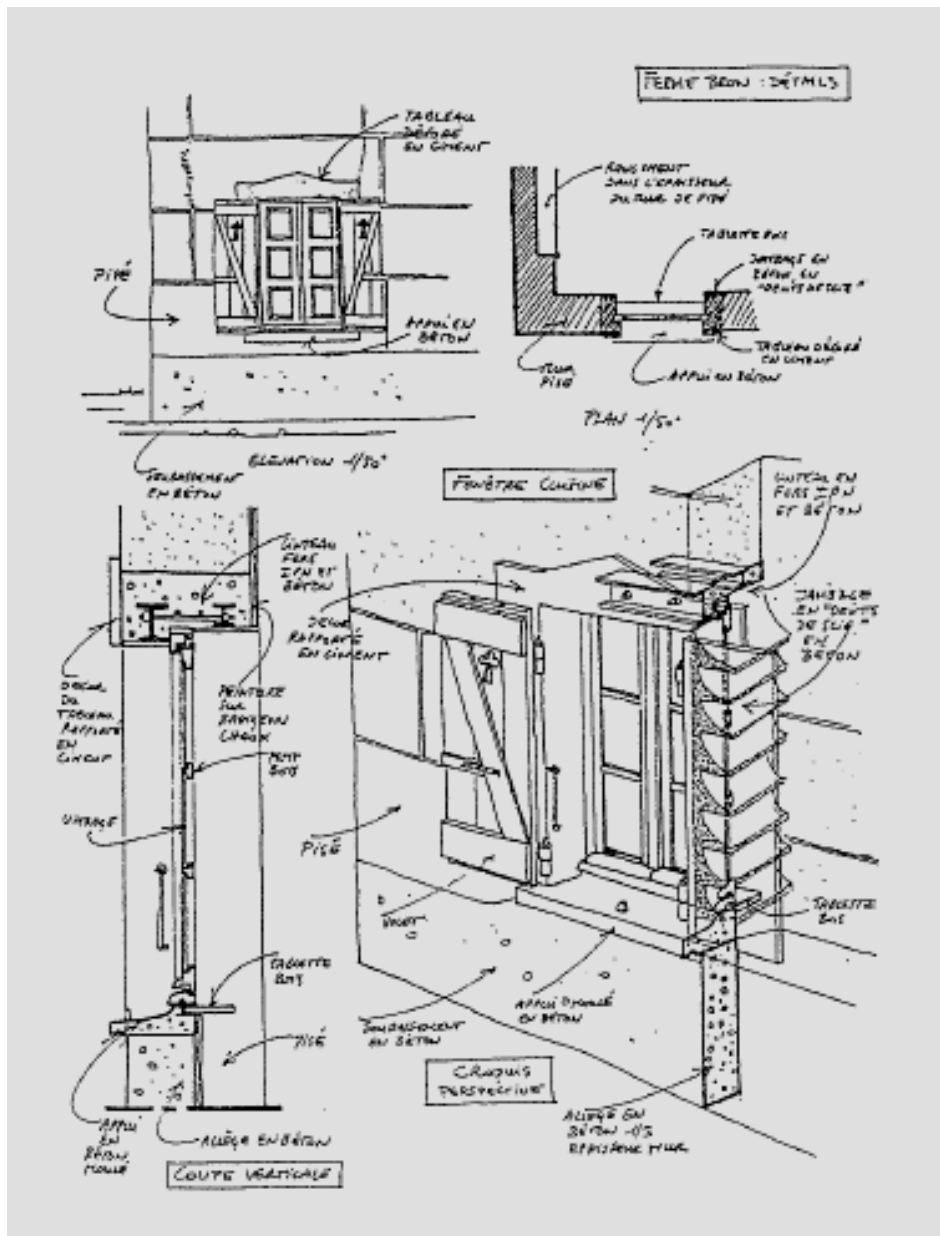
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: GUILLAUD, H. et HENRY, N. - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé*, 1984

RELEVÉ DE BATIMENT EN PISE, REGION RHONE-ALPES

Exemple de détails de construction

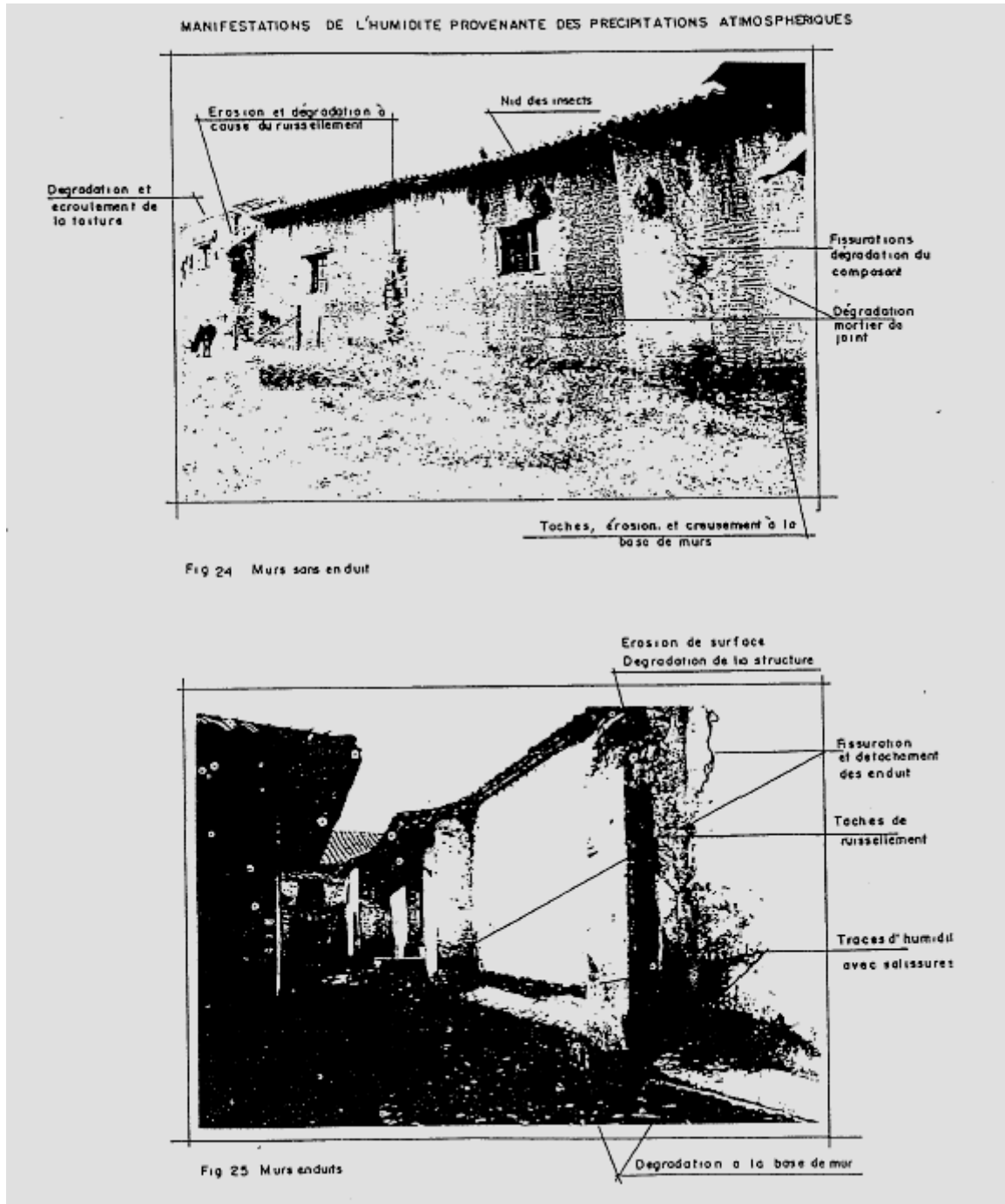


ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre*, 1992

RELEVÉ PHOTOGRAPHIQUE ANNOTE DE BATIMENT EN PISE, REGION RHONE-ALPES

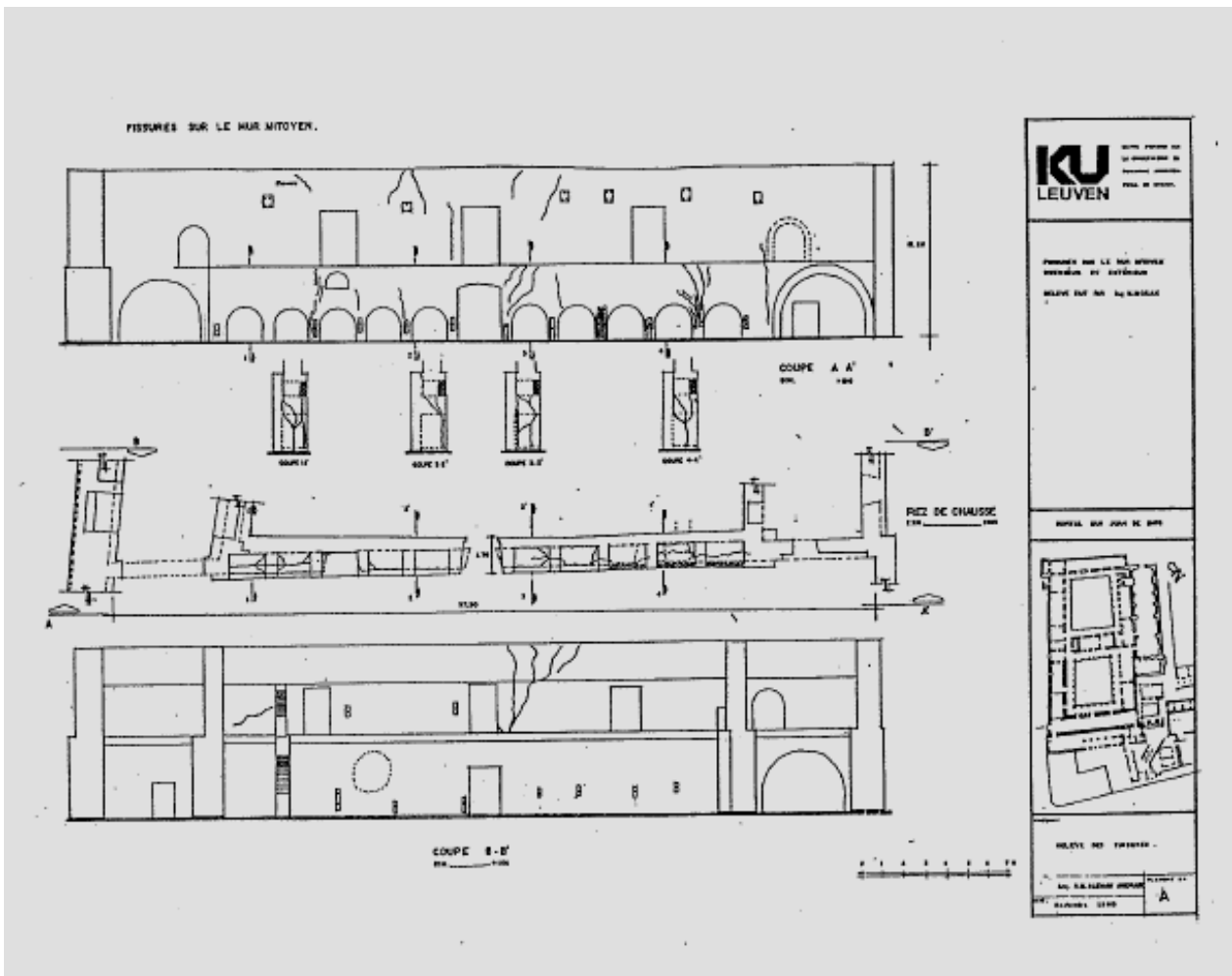


ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 5, chapitres IV)

Réf.: ALEMANE ANDRADE, Ruth Marcela - *Méthode d'intervention pour la conservation des architectures de terre*, 1990

RELEVÉ DE PATHOLOGIE STRUCTURALE EN PLAN ET FAÇADE
Hôpital San Juan De Dios, Equateur




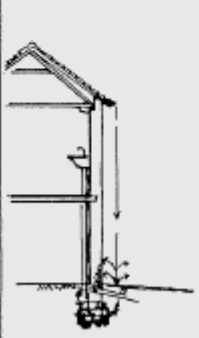
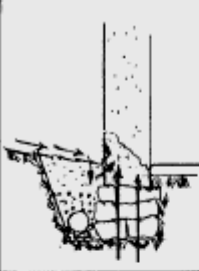

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 6, chapitres IV)

Réf.: RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre*, 1992

FICHES-DIAGNOSTIC DE PATHOLOGIE D'HUMIDITE

I. DESORDRES DANS LES FAÇADES
I.1 A LA BASE DE MURS

	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSE	MESURES A PRENDRE
	Frange humide à la base des murs levés ou sans efflorescences. Hauteur de l'humidité d'eau près la même. Changement de l'état du matériau composant.	Remontées capillaires	Terrain capillaire. Permanence du phénomène Humidité à l'intérieur des murs concernés. Taux d'humidité décroissent du bas en haut. Même pathologie humide dans les bâtiments voisins. Fondations en contact avec la nappe phréatique. Sédiments étanches en sous-sol.	Une pathologie humide en permanence à la base des murs doit être toujours étudiée attentivement, car elle peut entraîner de graves dommages à la structure.	Avant d'appliquer d'imperméabilisant quel procédé il est très important de déterminer l'origine de la source. Mesures de la teneur en eau des matériaux composants.
	Frange humide discontinue à la base d'un mur (humidité ponctuelle) avec ou sans efflorescences. Erosions, saillissures.	Infiltrations accidentelles. Regainement de la pluie.	Détérioration du réseau d'évacuation des eaux pluviales, des eaux usées ou des eaux vannes. Traitement non approprié des abords extérieurs. Absence ou détérioration des gouttières. Evolution dans le temps du phénomène. Taux d'humidité décroissent vers l'intérieur du mur.	A long terme peut causer de graves dommages à la structure. En principe les infiltrations de l'eau de pluie ne causent pas de dommages à la structure, mais si les infiltrations sont persistantes, ou se conjuguent avec d'autres désordres les conséquences peuvent devenir dévastatrices.	Recherche de la cause d'infiltration. Procéder à sa suppression, en portant de celles qui peuvent s'avérer dangereuses. Recherche de la cause d'infiltration. Procéder à sa suppression, en portant de celles qui peuvent s'avérer dangereuses.
	Frange humide discontinue à la base d'un mur (avec ou sans efflorescences)	Remontées capillaires.	L'eau peut provenir de la N.P. et la discontinuité de la frange humide résulte de: L'hétérogénéité des matériaux composants. Différences de niveau des fondations en contact avec la N.P. Différences d'épaisseur des murs. Imperméabilité du terrain donc accumulation des eaux de rassemblement. Exposition différente des ouvrages au soleil. Réhaussement du terrain. Pislottions en bordure.	A long terme peut causer de graves dommages à la structure. Changement de l'état des matériaux.	Recherche de l'origine. Mesures de la teneur en eau.
	Fortes érosions à la base des murs.	Condensation. Causes accidentelles. Regainement. Vent	Roses, machine et cycles répétés de mouillage - séchage. Passages de voitures. Chocs sur la base des murs. Pislottions au pied de murs. Nettoyages des abords. L'eau de pluie. Jet de gorgouilles. L'absence d'écran peut mettre à jour les fondations.	En principe l'érosion ne cause de dommages graves à la structure, mais elle peut contribuer à: - la dégradation de la base des murs. - la diminution de la résistance mécanique. - la pénétration et l'infiltration d'eau.	Recherche de l'origine. Protection de la base de murs.

N.P. Nappe Phréatique

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 6, chapitres IV)

Réf.: RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre*, 1992

FICHES-DIAGNOSTIC DE PATHOLOGIE D'HUMIDITE


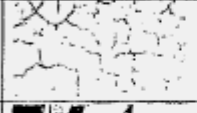


12 LES MURS A TOUT NIVEAU					
	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSES	MESURE A PRENDRE
	Réseaux de fissures très fines.	Retraît hydraulique et/thermique.	Murs non abrités de la pluie. Changements de température, alternance des pluies humidité - soleil. Qualité de la masse en œuvre.	N'affectent pas dans un premier temps la structure. Peuvent favoriser l'infiltration.	Recherche de l'origine.
	Soufflures, décollements partiels ou totaux des enduits.	Processus d'humidification-échauffage.	Variations de l'humidité. Pathologie humide parasitaire. Enduite imperméable à la vapeur d'eau qui bloque l'humidité dans le mur. Variations des températures, intempéries, saisons.	Un enduit de cette nature est plus vulnérable aux infiltrations. La structure de support peut être fortement endommagée.	Recherche de l'origine. Vérification de l'état de la structure.
	Fissures et dégradations de la menuiserie des portes et fenêtres. Dégradations des allèges. Erosions.	Ruissellement des eaux pluviales.	Mauvaise conception de la menuiserie de l'appui des fenêtres ou seuils de portes. Défauts d'étanchéité.	Ces désordres n'affectent pas la structure.	Vérification des contre-pentes.
	Traces d'humidité, saillies sur des corniches, bandeaux et saillies diverses. Erosions.	Ruissellement des eaux pluviales. Vents accompagnés parfois de la pluie.	Jonction entre mur et élément saillant. Pentes, retour de goutte d'eau.	Ces désordres n'affectent pas la structure.	Recherche de l'origine.
	Humidité affectant une porte du mur. Taches d'humidité bien délimitées.	Infiltrations de l'eau de pluie.	Pénétration de l'eau à travers des fissures. Enduit extérieur imperméable. L'épaisseur du mur est-elle aussi aux conditions climatiques. D'éclaircie d'étanchéité entre la menuiserie et la grille mur. Relation entre la pluie et l'apparition du phénomène.	Cet humidité n'est pas toujours facile à repérer car l'eau migrent à l'intérieur et apparaît parfois assez loin du point de pénétration. Même si les taches sont d'origine localisées, leur intensité est généralement plus importante que celle de taches par condensation.	Colmater les fissures de que possible. Élimination des enduits d'anches.
	Infiltrations accidentelles.	Infiltrations de l'eau de pluie.	Partie de murs au contact de pièces humides et des condensations diverses. Autour des appareils (éviers, sanitaires, etc) et à leur jonction avec le paroi et débordement et sur le sol.	Ces infiltrations se manifestent de manière comparable aux infiltrations - pénétrations de la pluie mais parfois elles peuvent causer des dégâts plus considérables.	Vérification exhaustive des complications et des appareils.
	Humidité due à plusieurs murs sur toute la surface ou sous forme de taches ponctuelles. Mesures.	Condensation	Production de vapeur dans les cuisines et les salles - d'eau son particulièrement exposées. Absence ou intermittence de chauffage. Instabilités mal conçues, angles morts. Interférence du phénomène liée soit au rythme de ventilation soit au rythme de séchage.	Ces désordres n'affectent pas la structure du bâtiment.	Recherche de l'origine. Vérification de l'état des ouvrages concernés. Assurer la renouvellement de l'air.
	Taches d'humidité et moisissures dans le ténail.	Condensation	Des menuiseries ou des linteaux peu ou pas isolés thermiquement. Appui de fenêtres en matériaux peu isolants sous les démonts constituant des ponts thermiques élevés. Fenêtres posées sans faulxure et au du pavement des murs extérieurs (logge de pont thermique).	Ces désordres n'affectent pas la structure du bâtiment mais ils sont à l'origine de dégradations colorées.	Recherche de l'origine. Vérifier l'isolament thermique des portes et fenêtres.

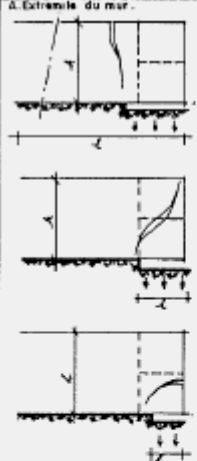
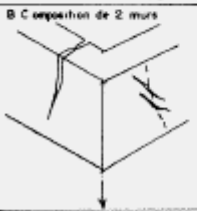
ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 6, chapitres IV)

Réf.: RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre*, 1992

FICHES-DIAGNOSTIC DE PATHOLOGIE STRUCTURALE

1. DESORDRES SUPERFICIELS					
	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSE	MESURES A PRENDRE
	Fissures très fines, réseaux de nœuds. Tenue plus sombre due à l'humidité.	Retrait hydraulique.	Evaporation de l'eau de construction. Ancienne pathologie humide. Reprises qui produisent les couches successives d'enduit. Pénétration de l'eau de pluie.	N'effectuer pas dans un premier temps la structure.	Si nécessaire recherche de l'origine.
	Fissures similaires à celles d'un retrait hydraulique plus profondes, espacées plus largement.	Retrait et dilatations thermiques.	Dilatation thermique du matériau. Variations de température. Type d'enduit, son épaisseur et son adhérence au support.	N'effectuer pas dans un premier temps la structure.	Si nécessaire recherche de l'origine.
	Gonflement et décollement des enduits.	Pathologie humide persistante.	Vérification de l'état de conservation des matériaux - composants de la structure de support. Recherche des causes de l'humidité. Type d'enduit.	La structure de support peut être fortement endommagée.	Élimination des enduits au essent. Vérification du type d'humidité des matériaux composants.
	Fissures au long de frontières entre deux matériaux différents.	Mouvements hygrothermiques différentiels.	Défiance dans la composition constructive. Négligence dans la mise en œuvre. Enduit de recouvrement de matériaux différents ou de qualité médiocre.	N'effectuer pas dans un premier temps la structure.	Recherche de l'origine de ces fissures.

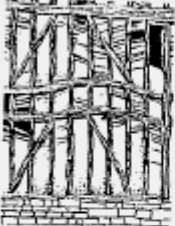





2. DESORDRES DUES AU COMPORTEMENT DU SOL EN FONDATION MURS PLEINS					
2.1. TRANSLATIONS VERTICALES					
	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSES	MESURES A PRENDRE
	A. Extrême du mur. Fissure en forme de S dans la partie non sujette au tassement.	Tassement long Rapport de dimensions: $l/h > 1/2$	Translation verticale. Tassement spontané du terrain d'assise. Irégularité de tassement du sol sous une même paroi verticale. Translations importantes dans la disposition initiale du bâtiment. Evolution de la teneur en eau du terrain d'assise (séchèment, humidification, infiltration, variations saisonnières de la nappe phréatique).	Fissures révélatrices de la composition constructive et de l'altitude du bâtiment. Cas assez rare.	Recherche de l'origine du tassement et de l'altitude de ces fissures. Ces fissures doivent être étudiées attentivement. Placer en travers des témoins datés afin de vérifier si les mouvements sont stabilisés.
	B. Composition de 2 murs. Fissures de type moyen inclinées à 45° sur la verticale et se manifestent vers le milieu de la paroi.	Tassement moyen Rapport de dimensions: $l/h \approx 1/2$	Tassement court Rapport de dimensions: $l < h/2$	Cas beaucoup plus fréquent surtout dans les bâtiments de faible hauteur. Cas très fréquent.	Encas d'ouverture des cas témoins il faudra procéder à des mesures temporaires (tassement, chapelets). Placer en travers des témoins datés. Vérification de la liaison entre les deux murs.

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 6, chapitres IV)

Réf.: RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre*, 1992

FICHES-DIAGNOSTIC DE PATHOLOGIE STRUCTURALE




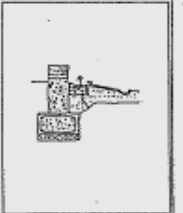



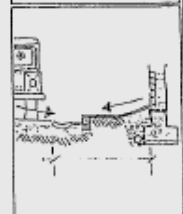
4. MURS EN MAÇONNERIE COMPOSITE					
	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSE	MESURES A PRENDRE
 <p>Murs en torchis - Pan de bois</p>	<p>Forme déformations géométriques et forts tassements déviants des panneaux de remplissage.</p> <p>Déboîtement des solives.</p>	<p>Modification de la structure bois.</p> <p>Joux des appuis des poutres et solives.</p> <p>Pathologie humide.</p>	<p>Absence ou échouement des décharges.</p> <p>Joux saignés entre panneaux de remplissage et moelles de l'ossature.</p> <p>Pourrissement du bois dû à l'action de l'eau.</p> <p>Action des moisissures et des insectes.</p> <p>Différences de comportement hygrothermiques.</p>	<p>Les jeux exagérés de la structure peuvent occasionner des graves désordres structuraux.</p> <p>Expositions différenciées de façades.</p>	<p>Vérification de l'échouement en bois.</p>
 <p>Murs en maçonnerie composite</p>	<p>Désolidarisation entre les prises verticales de pierre ou brique et les panneaux de remplissage (adobe - pisé).</p> <p>Fissures au voisinage des toges.</p>	<p>Tassement externe du mur.</p> <p>Tassement interne à la paroi.</p>	<p>Comportement du sol d'assise sous les charges de maçonnerie.</p> <p>Nette différence entre les 2 appareils.</p>	<p>Ces fissures n'affectent, en général, que les matériaux de remplissage.</p>	<p>Vérification du rôle structural.</p> <p>Eplacement de bétons d'attente.</p>
5. DESORDRES EN FACADES					
5.1 INFLUENCE DU MODE DE PERCEMENT.					
	MANIFESTATIONS	CAUSES	OBSERVATIONS	ANALYSE	MESURES A PRENDRE
	<p>Fissures d'origine verticale orientées dans l'enduit et la maçonnerie aux extrémités des linteaux et des appuis de bois, obliques ou non des fissures de cisaillement diagonales d'allège.</p>	<p>Tassements différentiels entre trumeaux et bases.</p> <p>Défauts constructifs.</p> <p>Pourrissement des bois à cause de l'humidité.</p>	<p>Transformations importantes dans la disposition initiale du bâtiment.</p> <p>Surcharges excessives.</p> <p>Sous dimensionnement des linteaux.</p> <p>Selon la composition constructive du linteau la configuration des fissures - change.</p>	<p>Ces désordres fournissent en général des indications sur l'époque de la construction, la composition constructive et parfois même sur l'état général de l'édification.</p> <p>Ces fissures en général n'affectent pas la structure du bâtiment dans son ensemble.</p>	<p>Recherche de l'origine.</p> <p>Si nécessaire placer de bétons d'attente.</p> <p>Si les fissures sont très importantes évider mieux et rétrécir les bois.</p>
	<p>Cisaillement accompagné d'une rupture d'appui du linteau.</p>	<p>Transfert de charges mal résolu.</p>	<p>Trumeau supérieur de maçonnerie trop lourd.</p> <p>Appui de poutre ou de solive mal placé.</p>		
	<p>Déformation brusque en S. du linteau.</p> <p>Défauts horizontaux des bandeaux, corniches, plate-bandes, etc.</p>	<p>Transfert de charges mal résolu.</p>	<p>Trumeau supérieur de maçonnerie trop lourd.</p> <p>Sous dimensionnement des linteaux.</p>		
	<p>Déformation de la courbure de l'intrados.</p> <p>Fissures au niveau des reins ou de la clef.</p>	<p>Transfert de charges mal résolu.</p>	<p>Surcharge des bases en forme d'arc.</p>		

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 7, chapitres V)

Réf.: ODUL, P., GUILLAUD, H., DOAT, P., HOUBEN, H. - *Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*, 1986

FICHES-D'AIDE A L'INTERVENTION : EROSION, PROBLEMES-SOLUTIONS

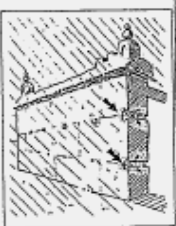

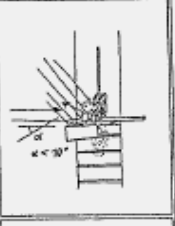
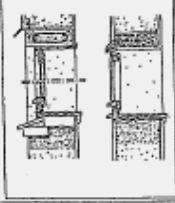
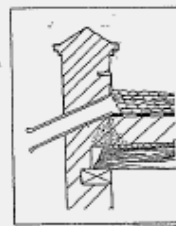
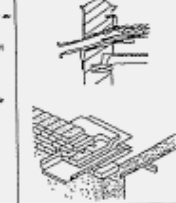
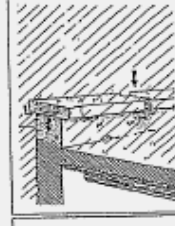

<p>ELEMENT</p> <p><input type="checkbox"/> Fondation</p> <p><input type="checkbox"/> Soubassement</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mur</p> <p><input type="checkbox"/> Ouverture</p> <p><input type="checkbox"/> Pavement</p> <p><input type="checkbox"/> Plancher</p> <p><input type="checkbox"/> Toiture</p> <p><input type="checkbox"/> Escalier</p> <p><input type="checkbox"/> Ossature</p>	<p>CRITERE</p> <p><input type="checkbox"/> Erosion</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Absorption</p> <p><input type="checkbox"/> Condensation</p> <p><input type="checkbox"/> Dynamique</p> <p><input type="checkbox"/> Statique</p>	<p>CONSTITUTION © CRATERre 85</p> <p>Mecanerie</p> <p><input type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Mono lithique</p> <p><input type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Composite</p> <p><input type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input type="checkbox"/> Non protégé</p>	<p>ELEMENT</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Fondation</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Soubassement</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mur</p> <p><input type="checkbox"/> Ouverture</p> <p><input type="checkbox"/> Pavement</p> <p><input type="checkbox"/> Plancher</p> <p><input type="checkbox"/> Toiture</p> <p><input type="checkbox"/> Escalier</p> <p><input type="checkbox"/> Ossature</p>	<p>CRITERE</p> <p><input type="checkbox"/> Erosion</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Absorption</p> <p><input type="checkbox"/> Condensation</p> <p><input type="checkbox"/> Dynamique</p> <p><input type="checkbox"/> Statique</p>	<p>CONSTITUTION © CRATERre 86</p> <p>Mecanerie</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Mono lithique</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Composite</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p>
<p>PROBLEME</p> <p>- Fugacité d'implantation non soumise de manière systématique à l'entretien des pièces ;</p> <p>- Erosion qui contribue à élargir la fissure, dégradation d'étanchéité et d'état des surfaces ;</p> <p>- Ces fissures peuvent être le résultat d'une pathologie structurelle ou des effets de retrait.</p>					
<p>SOLUTION</p> <p>- S'assurer avant une bonne terre et assurer une bonne mise en oeuvre ;</p> <p>- Contrôler rigoureusement le dosage.</p>					
<p>PROBLEME</p> <p>- Fugacité d'implantation des murs en terre crue (verre, toiture) ;</p> <p>- Défaillance de l'eau par cette surface ;</p> <p>- Obstacle à l'évacuation de l'humidité en présence du revêtement final ;</p> <p>- Risque de pathologie humide ;</p> <p>- Cette situation de terrain naturel risque d'empêcher plus de réaliser le mur de terre qui est resté peu à peu affecté de soubassement protecteur.</p>					
<p>SOLUTION</p> <p>- La conception adoptée des murs de terre fait partie de l'équipe de la conception du bâtiment ;</p> <p>- Ne pas oser l'exportation de l'humidité en présence de revêtement final, car cela a l'air de se faire de drainage au lieu de l'humidité.</p>					
<p>ELEMENT</p> <p><input type="checkbox"/> Fondation</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Soubassement</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mur</p> <p><input type="checkbox"/> Ouverture</p> <p><input type="checkbox"/> Pavement</p> <p><input type="checkbox"/> Plancher</p> <p><input type="checkbox"/> Toiture</p> <p><input type="checkbox"/> Escalier</p> <p><input type="checkbox"/> Ossature</p>	<p>CRITERE</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosion</p> <p><input type="checkbox"/> Absorption</p> <p><input type="checkbox"/> Condensation</p> <p><input type="checkbox"/> Dynamique</p> <p><input type="checkbox"/> Statique</p>	<p>CONSTITUTION © CRATERre 86</p> <p>Mecanerie</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Mono lithique</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Composite</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input type="checkbox"/> Non protégé</p>	<p>ELEMENT</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Fondation</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Soubassement</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mur</p> <p><input type="checkbox"/> Ouverture</p> <p><input type="checkbox"/> Pavement</p> <p><input type="checkbox"/> Plancher</p> <p><input type="checkbox"/> Toiture</p> <p><input type="checkbox"/> Escalier</p> <p><input type="checkbox"/> Ossature</p>	<p>CRITERE</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Erosion</p> <p><input type="checkbox"/> Absorption</p> <p><input type="checkbox"/> Condensation</p> <p><input type="checkbox"/> Dynamique</p> <p><input type="checkbox"/> Statique</p>	<p>CONSTITUTION © CRATERre 86</p> <p>Mecanerie</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Mono lithique</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p> <p>Composite</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Protégé</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Non protégé</p>
<p>PROBLEME</p> <p>- Le rajout de béton de base, de l'eau de terre érosionnée, s'écoule dans le mur ;</p> <p>- Action érosive à la base du mur qui peut mener à la destruction en présence de vent (sulfures) ;</p> <p>- La présence d'une pathologie humide (eau ou absorption dans le mur), cette action érosive aggrave également le impact ;</p> <p>- Dans beaucoup de cas, un simple enduit protecteur de la même composition que celle employée comme base pour les murs, ne suffit pas.</p>					
<p>SOLUTION</p> <p>- Réaliser les murs de base ;</p> <p>- limiter l'impact du rajout de béton ;</p> <p>- s'écouler au pied ;</p> <p>- protéger les fondations du bas du mur ;</p> <p>- soubassement en maçonnerie cimentée et l'impact du rajout de béton ;</p> <p>- protection de surface de la base du mur (sulfures, enduit final) ;</p> <p>- localisation de l'impact sur les murs en briques creuses, parties en maçonnerie de surface ;</p> <p>(*) attention : ne pas rendre les murs de base imperméables à la vapeur.</p>					
<p>PROBLEME</p> <p>- Passage de l'eau à proximité du mur, écoulement de l'eau d'eau ;</p> <p>- Attention à l'érosion due au rajout de béton des pièces, attention à la base du mur ;</p> <p>- Cette action érosive peut être aggravée en présence de sel (à la suite des vents).</p>					
<p>SOLUTION</p> <p>- Protéger les fondations ;</p> <p>- Éviter l'humidité d'eau sur les murs de base par une bonne évacuation des eaux ;</p> <p>- Concevoir si possible le travail des murs de base.</p>					

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 7, chapitres V)

Réf.: ODUL, P., GUILLAUD, H., DOAT, P., HOUBEN, H. - *Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*, 1986

FICHES-D'AIDE A L'INTERVENTION : ABSORPTION, PROBLEMES-SOLUTIONS

<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Closerie <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamisme <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Mécanolithique</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Composite</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mur en plein : - Les trois faces libres par l'adjonction des sîles de bandes, non renouvelés, laissent à l'intérieur l'eau de pluie ; - L'empilement de l'inférieur, absorption d'humidité et diffusion capillaire.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ne pas laisser à l'intérieur dans le mur spatial des trous ou traitement spécial. Dans le cas des sîles de bandes il faut traiter les bandes. 	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Closerie <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <p>Mécanolithique</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Composite</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perte de l'appui de l'élément trapézoïdal ; - Erosion trop forte de l'eau de pluie directe et de retour vers le mur ; - Un cas de pluie battante ou pluie accompagnée de vent : infiltration entre la maçonnerie et l'appui de l'élément et possible dans le mur.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévoir une pente de l'appui d'au moins 10° ; - Prévoir un joint d'étanchéité entre la maçonnerie et l'appui, au joint renouvelé ; - Prévoir une bande stable dans le mur sous l'appui afin d'éviter toute infiltration accidentelle ; - Ne jamais rendre la face extérieure du mur imperméable à la vapeur pour permettre l'évacuation à l'air de l'humidité ; - Convaincrement planer la maçonnerie vers l'extérieur du mur. 
<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input checked="" type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Closerie <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Mécanolithique</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Composite</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gargouille traversant l'élément ; - Infiltration à la base des matériaux, pathologie humide causée dans l'épaisseur de l'élément ; - Infiltration due à une gargouille défectueuse ou non munie d'un dispositif de la gargouille.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les gargouilles doivent être bien conçues et avoir un large diamètre au départ : trappes d'empoussiement ou d'écoulement ; - Large section, bonne pente, large dénivelé de mur (0,50 à 1 m) ; - Le renouvellement d'humidité au départ doit être bien protégé et il faut prévoir un protection à l'entrée pour la traversée de l'élément ; - La gargouille doit être bien fixée et être impossible à décoller. La sortie de la gargouille est protégée par un rebordage ; - Les gargouilles sont orientées vers le vent ; - On empêche son maintien de vent : une, deux, six gargouilles, terre malle lustrée... 	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input checked="" type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Closerie <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <p>Mécanolithique</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>Composite</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'eau s'écoule par les fissures d'une protection d'éléments défectueux ; - L'option mauvaise du matériau avec les éléments très petits de pierres et de l'infiltration éternelle la pathologie humide de l'ouvrage : absorption et diffusion capillaire.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévoir l'élément par un élément absorbant (craie) ou un élément absorbant (pierre, briques, béton...) et de préférence un ou une protection absorbante pour les joints entre les éléments ; - Prévoir l'élément d'écoulement vers le dehors. 

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 7, chapitres V)

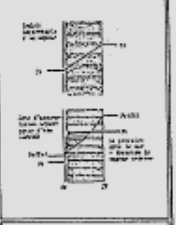
Réf.: ODUL, P., GUILLAUD, H., DOAT, P., HOUBEN, H. - *Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*, 1986

FICHES-D'AIDE A L'INTERVENTION : CONDENSATION, PROBLEMES-SOLUTIONS

ELEMENT	CRITERE	CONSTITUTION	© CRATERre 06
<input type="checkbox"/> Fondation	<input type="checkbox"/> Erosion	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Soubassement	<input type="checkbox"/> Absorption	<input type="checkbox"/> Protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Mur	<input checked="" type="checkbox"/> Condensation	<input type="checkbox"/> Non protégé	
<input type="checkbox"/> Ouverture	<input type="checkbox"/> Dynamique	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Pavement	<input type="checkbox"/> Statique	<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Plancher		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Toiture		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Escalier		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Ossature		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	

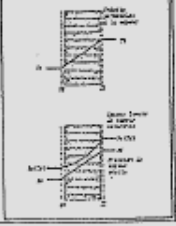
PROBLEME

- Cratère externe imperméable à la vapeur d'eau sur chaque face dans le mur.
- Condensation interne.
- Possibilité de déplacement de l'humidité.
- Plancher isolable du sous-sol par hépaconerie - réalisation de l'isolant, possibilité de l'ouvrir par des problèmes constructifs et écoulement.
- Cratère de condensation sur le mur en zone de stabilité.



SOLUTION

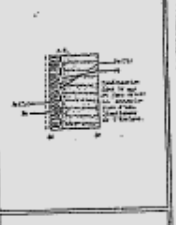
- Cratère à l'extérieur imperméable à la vapeur d'eau.
- Un mur isolable imperméable et autorisé à être ventilé par dans un cas l'implantation d'un isolant externe imperméable, en usage d'empêcher l'humidité dans le mur.



ELEMENT	CRITERE	CONSTITUTION	© CRATERre 06
<input type="checkbox"/> Fondation	<input type="checkbox"/> Erosion	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Soubassement	<input type="checkbox"/> Absorption	<input type="checkbox"/> Protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Mur	<input checked="" type="checkbox"/> Condensation	<input type="checkbox"/> Non protégé	
<input type="checkbox"/> Ouverture	<input type="checkbox"/> Dynamique	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Pavement	<input type="checkbox"/> Statique	<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Plancher		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Toiture		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Escalier		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Ossature		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	


PROBLEME

- Mur à isolation externe et pare-vapeur près le bord de l'isolant de côté vers l'intérieur.
- Condensation interne, accumulation d'eau entre la terre et l'isolant.
- Possibilité de déplacement de l'humidité.



SOLUTION

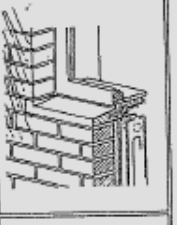
- Pare-vapeur à l'ext., à distance d'air sur la face extérieure du mur de terre.



ELEMENT	CRITERE	CONSTITUTION	© CRATERre 06
<input type="checkbox"/> Fondation	<input type="checkbox"/> Erosion	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Soubassement	<input type="checkbox"/> Absorption	<input checked="" type="checkbox"/> Protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Mur	<input checked="" type="checkbox"/> Condensation	<input type="checkbox"/> Non protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Ouverture	<input type="checkbox"/> Dynamique	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Pavement	<input type="checkbox"/> Statique	<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Plancher		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Toiture		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Escalier		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Ossature		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	

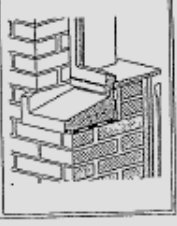
PROBLEME

- Les joints de fenêtres en matériaux poreux (bois, etc.) sont les éléments constitutifs des murs thermiques, ce qui se traduit par des déperditions thermiques élevées et par des condensations importantes.
- Lors d'un apport d'air chaud, il faut l'ouvrir au maximum et éviter de l'ouvrir au minimum.
- Lors d'un apport d'air chaud, il faut l'ouvrir au maximum et éviter de l'ouvrir au minimum.



SOLUTION

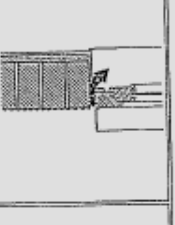
- Les parties solaires et extérieures des joints de fenêtres doivent être séparées par un isolant thermique.
- Eviter que le joint puisse servir de pont thermique et l'appui solide doit isoler la température de surface extérieure.
- Employer un appui en matériau plus isolant (bois, béton).



ELEMENT	CRITERE	CONSTITUTION	© CRATERre 06
<input type="checkbox"/> Fondation	<input type="checkbox"/> Erosion	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Soubassement	<input type="checkbox"/> Absorption	<input checked="" type="checkbox"/> Protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Mur	<input checked="" type="checkbox"/> Condensation	<input type="checkbox"/> Non protégé	
<input checked="" type="checkbox"/> Ouverture	<input type="checkbox"/> Dynamique	<input checked="" type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Pavement	<input type="checkbox"/> Statique	<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Plancher		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Toiture		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Escalier		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	
<input type="checkbox"/> Ossature		<input type="checkbox"/> Hépaconerie	

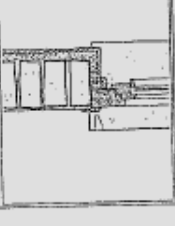
PROBLEME

- Avec des fenêtres posées sur toiture et au-dessus du pavement de murs extérieurs il y a un risque de pont thermique et condensation de surface.
- Faute de maintenance, de grilles d'aération, d'écoulement de surface, d'entretien des joints, etc.
- Sans entretien, les joints peuvent se passer sous des fenêtres posées sur l'isolant extérieur.



SOLUTION

- Bien assurer le remplissage des joints entre la structure et le mur.
- Maintenir durablement l'isolant et le mur.
- Eviter l'emploi de joints métalliques.
- Placer un isolant entre le mur et l'appui de la fenêtre.





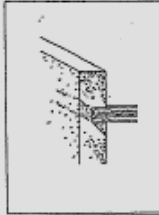

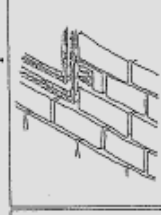

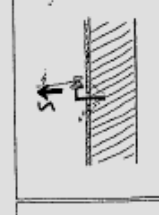
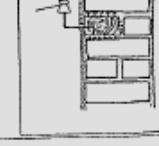
page 34

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 7, chapitres V)

Réf.: ODUL, P., GUILLAUD, H., DOAT, P., HOUBEN, H. - *Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*, 1986

FICHES-D'AIDE A L'INTERVENTION : FORCES DYNAMIQUES, PROBLEMES-SOLUTIONS




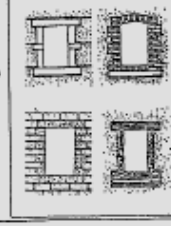
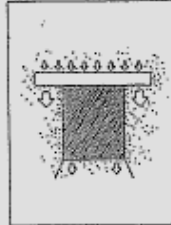

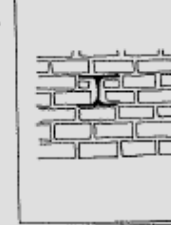
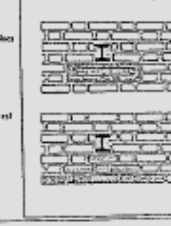
<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input checked="" type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input checked="" type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>© CRATERE 86</p> <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mur exposé aux variations thermiques et hygrométriques ; - Dilatations et rétractions saisonnières ; - Accidents de fissures. (*) Dans le cas de structures, ossatures et remplissage maçonnaires et/ou monolithiques, la fissure apparaît de façon localisée à la liaison ossature/remplissage. Il s'agit d'un effet de frottement différentiel d'axe par cette fissure.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévoir un joint de dilatation dans la section du mur à boucher selon les pratiques courantes.  <p>JOINT DE DILATATION</p>	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input checked="" type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input checked="" type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>© CRATERE 86</p> <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture : le plancher prend de la flexion et agit sur le mur par son appui ; soulèvement, écartement des charges, marasement de l'axe intérieur, fissures ; - Pénétration : l'appui est aux dimensions et ne répartit pas les charges de façon uniforme ; liaisons différentes et fissures.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la surface d'appui et ramener les charges au centre de gravité du mur ; - Les appuis qui stabilisent le section de mur sont à éviter ; - Vérifier les bons rapports charge/poids et installer un chaînage. 
<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input checked="" type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input checked="" type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>© CRATERE 86</p> <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Souffrance de maçonnerie dans un mur dans des zones protégées (après évacuation du mur ou démolition partielle dans l'ouvrage, en particulier la destruction de poteaux et en relevant les trous avec du mortier) ; - Fissures non évitées : stabilisation par ajout et vibration des à une température inférieure des mortiers secs.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Souffrance de la maçonnerie à l'aide de poteaux en bois remplis avec la terre et garnis avec l'isolation du mur ; - ou - Souffrance de la maçonnerie dans un faible d'ouverture en mortier stabilisé. 	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input checked="" type="checkbox"/> Dynamique <input type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé Composite <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>© CRATERE 86</p> <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un fil électrique fixé dans le mur de terre est sujet au vent qui heurte les formes dérivées au pied de l'ouvrage ; - L'échouement local du mur et de l'isolant (Fig. 4) ; - Les pertes de infiltration d'eau.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmenter localement la résistance par : <ul style="list-style-type: none"> plus stabilité prévoir un échafaudage de fixation dans le mur du mur - Augmenter l'isolant ; - Eviter le cas d'une ossature avec remplissage en terre (ossature ou monolithique) ; - Eviter de faire à des points stratégiques de la stabilité par : <ul style="list-style-type: none"> chaînage d'une ossature appui de béton - Éviter l'effacement "cyclonique". 

ILLUSTRATIONS

(Série de dessins n° 7, chapitres V)

Réf.: ODUL, P., GUILLAUD, H., DOAT, P., HOUBEN, H. - *Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*, 1986

FICHES-D'AIDE A L'INTERVENTION : FORCES STATIQUES, PROBLEMES-SOLUTIONS

<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input checked="" type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Composite <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ouverture à l'air, joints de l'élément ; - Ouvertures rapprochées avec un intervalle trop faible ; l'absence de l'ouvrage ; - Fissures structurelles et fissures liées à l'érosion par ruissellement sur les fissures.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - La distance minimale entre une baie et l'angle de mur est de 100 ; - la largeur d'un tronçon entre les fenêtres à l'extérieur de mur est à un minimum de 60 cm. Le tronçon est pas inférieur à moitié de son de largeur ; - Relever un aspect de hauteur différent d'au moins 20 cm et de l'extérieur (sur l'intérieur par rapport à la largeur de la baie). 	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input checked="" type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input checked="" type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Joints trop faibles ; - Ouvrage insuffisant de hauteur et de l'appui ; l'absence de l'ouvrage ; - Effacement de l'aspect de l'ouvrage existant du bâtiment et l'absence de l'ouvrage ; - Fissures structurelles, sans possibilité d'élimination.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les hauteurs de baies doivent être largement dimensionnées ; grande hauteur de l'ouvrage et de l'appui, stabilité des joints ; - Assurer une bonne reprise des charges concentriques ; - Augmenter la hauteur d'appui de l'ouvrage dans le mur (> 20 cm, et plus pour les grandes baies) ; - Augmenter la résistance à la compression des murs au droit des appuis de l'ouvrage ; stabiliser les joints ou les traiter en maçonnerie ; - Assurer une bonne reprise des charges, éventuellement éviter les charges. 
<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input checked="" type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Claquage de l'élément.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les charges traditionnelles sur les joints doivent être bien réparties ; - Assurer l'appui, l'incorporation des armatures sous l'appui ; - Assurer la stabilité de l'ouvrage, et en particulier d'éviter la rupture des joints vers l'extérieur et le mur de la partie de l'ouvrage indépendante de celle au-dessus après la construction de mur (sur une partie de hauteur les joints sont 100-100). 	<p>ELEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fondation <input type="checkbox"/> Soubassement <input checked="" type="checkbox"/> Mur <input type="checkbox"/> Ouverture <input type="checkbox"/> Pavement <input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Toiture <input type="checkbox"/> Escalier <input type="checkbox"/> Ossature <p>CRITERE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Erosion <input type="checkbox"/> Absorption <input type="checkbox"/> Condensation <input type="checkbox"/> Dynamique <input checked="" type="checkbox"/> Statique <p>CONSTITUTION © CRATERRE 86</p> <p>Maçonnerie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Monolithique <input checked="" type="checkbox"/> Protégé <input checked="" type="checkbox"/> Non protégé <input type="checkbox"/> Composite <input type="checkbox"/> Protégé <input type="checkbox"/> Non protégé <p>PROBLEME</p> <ul style="list-style-type: none"> - Répartition des charges non équilibrée, provoquant sur le mur une absence de l'ouvrage ; - Effacement et fissures structurelles.  <p>SOLUTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Répartir les charges par un lit en béton armé ; - Prévoir un lit de répartition dans la maçonnerie utilisant des blocs stabilisés dans les murs existants ; - Assurer la possibilité d'arrêter les joints vers des armatures dans le mur de l'ouvrage existant ; - Les blocs en béton, s'ils ont avec le charge très compressive dans des blocs pleins et on évite un mur maçonnerie ; - On évite de monter de pose pour répartir inégalement les charges et stabiliser. 

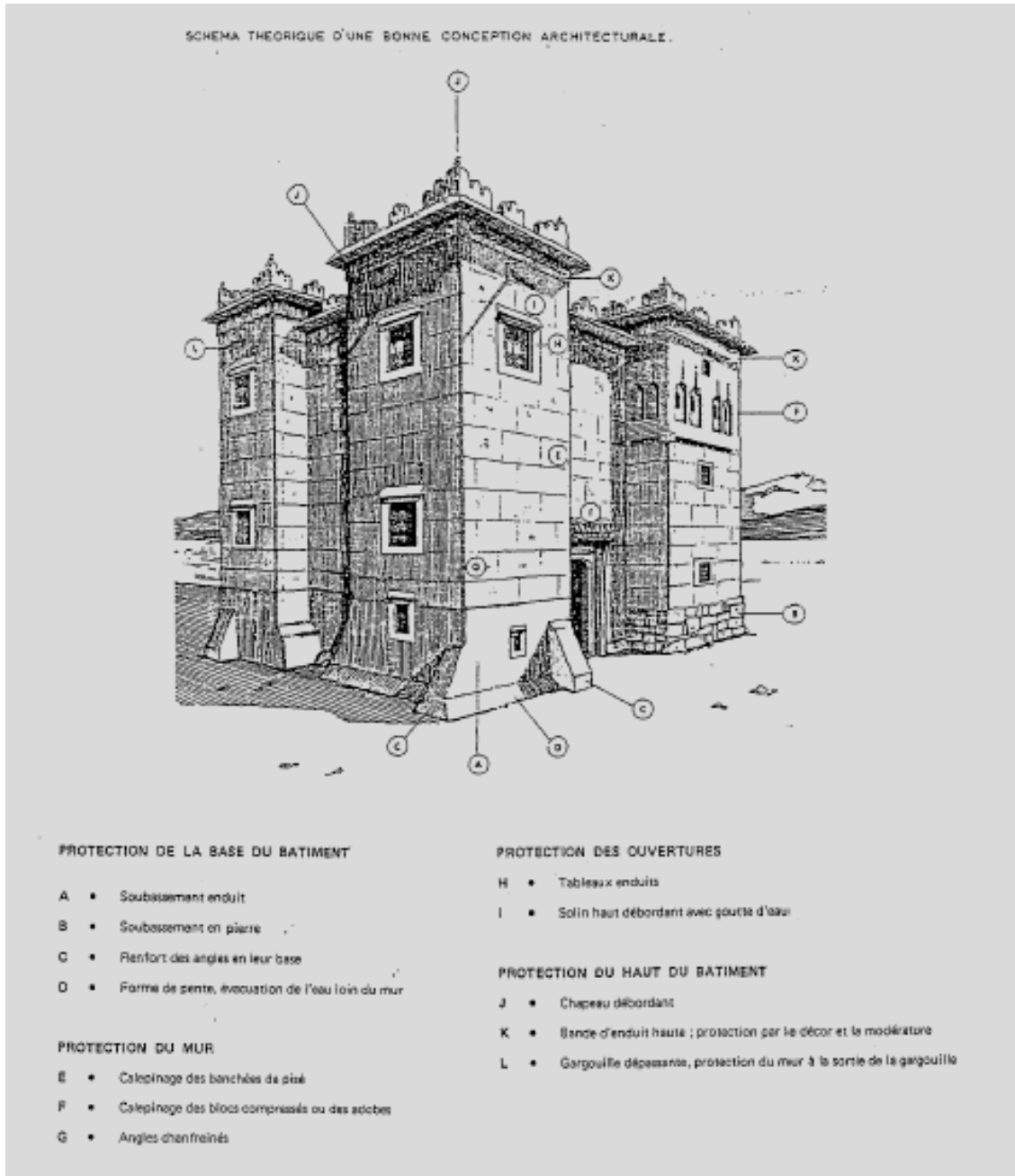
ILLUSTRATIONS

(Dessins n° 8, chapitres VI, Conclusion)

Réf.: CRATerre et GAITerre - Marrakech 83, Habitat en Terre, 1983.

Réf.: GUILLAUD, H. et al. - Marrakech 87, Habitat en Terre, 1987.

LE SAVOIR ET LE SAVOIR-FAIRE DES BATISSEURS EN TERRE MAROCAINS



Recherche en conservation

Conservation des architectures de terre. Revue critique de la littérature scientifique des 15 dernières années du 20^{ème} siècle : article de synthèse

(Une recherche effectuée sous contrat avec le Getty Conservation Institute, dans le cadre du programme de recherche du Projet TERRA ¹, en 1999 et révisée en 2001 ; éditée en 2007)

Liminaire : le document original de notre recherche comprend un rapport de 234 pages qui décline la revue de la littérature en 3 thèmes principaux regroupant un ensemble de sujets s'y rapportant. Nous présentons ici une synthèse inédite qui relève le cadrage des problématiques posées dans chacun des thèmes et les principales conclusions issues de la revue du fonds documentaire. Nous joignons également en deuxième partie de cet article une synthèse de la contribution des chercheurs qui ont été sollicités pour une deuxième étape de révision de la littérature par le GCI, sur la base d'un nouveau regroupement des sujets traités en 8 sections sous thématiques. Cette synthèse a fait l'objet d'une communication que nous avons présentée lors de la Conférence Terra 2003 qui s'est tenue à Yazd, Iran, en novembre 2003. Puis nous apportons notre conclusion à l'ensemble de la synthèse présentée.

Présentation générale de la recherche

Le champ d'investigation et d'application de la conservation des architectures de terre crue, dans sa pleine acceptation, est vaste. Il couvre un domaine d'intervention sur des objets de nature patrimoniale d'une grande variété culturelle et situés dans l'ensemble de la géographie planétaire. Il inclut des ressources de nature archéologique comme de nature architecturale historique, de valeur reconnue au plan des nations ou de valeur universelle commune au genre humain (UNESCO), comme de valeur plus modeste (habitat) mais témoignant tout aussi bien de la mémoire des cultures constructives de l'humanité depuis des temps très lointains et parvenue jusqu'à nous. Il couvre un large registre de techniques ayant valorisé l'emploi de sols pour construire les habitats, en milieu rural et urbain et des édifices prestigieux que l'homme a édifiés au cours de son histoire. Architecture de torchis, de bauge, d'adobe ou de pisé, pour les techniques les plus répandues et déclinées en de nombreuses variantes, de l'échelle locale à régionale, internationale. Architectures de terre crue associant aussi d'autres matériaux de construction comme le bois, la brique cuite, la pierre, pour des raisons structurales ou esthétiques, sans oublier l'éventail très varié des mortiers et des enduits. Toutefois, c'est bien essentiellement de la conservation des architectures de terre crue dont il est question dans cette recherche. Le devoir de transmission de la mémoire qui s'impose de fait devant l'évidence de la grande qualité de ces architectures qui s'établissent en relation respectueuse et d'équilibre avec leurs environnements physiques et humains, qui ont de tout temps apporté des réponses au besoin d'habitat mais davantage encore à un large registre de besoins des sociétés, nous invite à conserver ce legs culturel d'exception pour garantir sa transmission aux générations futures. Car, comme l'a lumineusement écrit la philosophe française Simone Weil dans *L'Enracinement* ², « *il serait vain de se détourner du passé pour ne penser qu'à l'avenir. (...) L'opposition entre le passé et l'avenir est absurde. L'avenir ne nous apporte rien, ne nous donne rien. C'est nous qui, pour le construire, devons tout lui donner, (...). Mais pour lui donner il faut posséder et nous ne possédons d'autre vie, d'autre sève que les trésors hérités du passé et digérés, assimilés, recréés par nous. De tous les besoins de l'âme humaine, il n'y en a pas de plus vital que le passé.* »

Si les savoirs et les pratiques conservatoires des architectures de terre ont été de tout temps pleinement intégrées dans la quotidienneté de la vie humaine, qui a toujours pris soin de son patrimoine architectural, comme le montrent souvent les recherches archéologiques par les témoignages de réparations, de restaurations ou de reconstructions, ces savoirs et ces pratiques ne constituent pas pour autant une « discipline » ou une « science » établies comme telles. En effet, le domaine de la conservation des architectures de terre crue commence à peine à définir sa spécificité et à se distinguer de la conservation des architectures appréhendée comme domaine générique ou au regard de matériaux et techniques autres tels que le bois, la brique cuite ou la pierre. Longtemps, les architectures de terre ont été considérées comme n'ayant pas assez de valeur architecturale (esthétique) pour justifier leur conservation ou regardées comme désuètes et

¹ Le Projet TERRA a été défini au cours de l'année 1997 et a été inauguré en 1998. Il suit la réalisation d'un premier « Cours Panaméricain sur la Conservation et la Gestion des Patrimoine Architecturaux en Terre », réalisé à Chan Chan, Pérou, en 1996, dans le cadre du Projet GAIA conjointement développé par l'ICCROM et le CRATERE-EAG depuis 1989. Le projet TERRA poursuit et amplifie des activités du Projet GAIA en élargissant le partenariat institutionnel au Getty Conservation Institute qui avait déjà été associé à la réalisation du cours panaméricain de Chan Chan en 1996.

² Weil 1952 : WEIL, Simone – *L'Enracinement*, éditions Gallimard, Paris, 1952.

périssables, dès lors qu'elles étaient mises au jour et sujettes à rapide dégradation sous l'effet des agents de l'environnement, ou dès lors qu'elles étaient abandonnées et entraient alors dans un processus de ruine car non entretenues. Pour autant, dès lors que le champ des architectures de terre a été reconnu et cerné dans sa spécificité, les autres domaines distincts de savoirs et de pratiques de la conservation architecturale ont considérablement apporté à la conservation des architectures de terre crue. Au plan de la réflexion scientifique, de la définition des méthodes d'évaluation de l'état et de diagnostic, au plan des méthodes d'intervention, des types de traitements et des procédures de suivi, de contrôle et d'évaluation. Par ailleurs, la recherche et les projets développés depuis ces 30 dernières années, en matière de conservation des architectures de terre crue, ont considérablement progressé. Les échanges d'expérience, la communication des résultats des recherches, ont notamment bénéficié des plateformes et des tribunes offertes aux chercheurs et aux praticiens par des conférences spécialisées, organisées au niveau international³. Au-delà de ces apports féconds aux savoirs et aux pratiques, il est tout à fait clair que la « science » de la conservation des architectures de terre crue et la reconnaissance d'une « discipline » propre, sont encore à peine naissantes et doivent encore mieux fonder leurs référents théoriques. Ainsi, faire le point sur la littérature scientifique de ces dernières années dans le domaine des savoirs et des pratiques conservatoires des architectures de terre s'imposait comme un préalable indispensable pour contribuer à s'engager plus avant dans cette direction et être en mesure de mieux établir les fondements théoriques nécessaires à toute science et discipline.

Cette revue de la littérature sur la conservation des architectures de terre couvre les 15 dernières années de la production scientifique du 20^{ème} siècle ayant mobilisé de nombreux chercheurs et rend aussi compte des expériences de nombreux opérateurs de terrain ayant contribué au développement de projets de conservation de sites archéologiques et d'édifices historiques, sur une vaste géographie mondiale. Pour réaliser ce travail, sur un temps effectif contractuel de 2 mois, nous avons principalement exploité plus de 7000 références dans lesquelles une première sélection de 757 titres de thèses et mémoires, rapports de recherche, communications et articles scientifiques, rapports de projets et études de cas, se rapportant plus directement au domaine couvert, a été opérée. A ces références ont été ajoutées d'autres sources d'information issues du BCIN et du « *Project TERRA Survey* » (1998), qui ont porté notre présélection à 1269 documents. Un second tri a été ensuite opéré qui a finalement retenu 621 sources documentaires. Notre sélection aura été aussi limitée par notre connaissance et pratique des langues vivantes portant principalement sur un fonds français, anglais, espagnol et italien.

Dans les limites du temps et des moyens initialement accordés à cette recherche il a été volontairement décidé de réviser la littérature en la ventilant selon trois thèmes principaux. Il s'agit de :

- 1 – Connaissance des sols et analyse du matériau terre ;
- 2 – Pathologie et diagnostic des architectures de terre ;
- 3 – Interventions et traitements.

Chaque référence documentaire présélectionnée a donc été répartie dans ces trois entrées thématiques et au regard d'une liste de sujets retenus, obligeant à référencer plusieurs fois les mêmes sources selon la teneur des propos exploitables à plusieurs niveaux. Il aura donc été nécessaire de revenir sur les mêmes sources en révisant successivement les trois thèmes et leurs sujets. Pour ventiler l'ensemble des sources et opérer une première lecture générale, plusieurs critères ont été retenus dont celui de l'identification et de la typologie documentaire (rapports de recherche, articles, communications, ouvrages, ...), de la typologie de la recherche (fondamentale, appliquée), d'une évaluation quantitative et statistique vis-à-vis des thèmes et des sujets, du développement propre de la recherche (problématique, hypothèses, objectifs, méthode et résultats), et enfin d'évaluation qualitative, principalement pour éviter les redondances et pour apprécier la valeur des apports, en distinguant ce qui apparaît comme essentiel et novateur de ce qui peut être considéré comme relevant du domaine connu. Cela afin de répondre aussi à l'objectif de préfiguration de nouvelles voies de la recherche. En effet, l'ensemble de la littérature révisée révèle une duplication des propos ou une restitution dans une large gamme typologique de supports de communication. Au-delà de cette première phase du travail, nous nous sommes attachés ensuite à réaliser des fiches de lecture qui constituent finalement le corpus documentaire de cette révision littéraire couvrant 132 titres et 118 auteurs constituant des références incontournables.

Tout en s'appuyant sur l'expérience que notre laboratoire de recherche CRATerre a développé depuis ces 15 dernières années dans le domaine de la conservation des architectures de terre, ce travail de recherche reste une contribution

³ Citons ici les grandes conférences internationales de Yazd, Iran, en 1972 et 1974, de Bruxelles, Belgique, en 1984, de Beijing, en Chine, en 1985, de Rome, Italie, en 1987, de Las Cruces, Etats-Unis, en 1990, de Silves, Portugal, en 1993, de Torquay, Angleterre, en 2000, puis à nouveau à Yazd, Iran, en 2003. On ne peut ici dénombrer tous les événements scientifiques qui ont couvert cette problématique de la conservation des architectures de terre au niveau des nations et qui sont toujours organisées selon un agenda annuel régulier, que ce soit en Europe, en Amérique latine, en Asie et même en Afrique.

modeste face à l'ampleur et la richesse, comme la qualité des sources qui ont été exploitées. Il valorise surtout les apports des chercheurs et des opérateurs du milieu de la conservation des architectures de terre ainsi que d'autres contributions qui nous ont semblées importantes à intégrer, notamment au delà du seul propos scientifique et/ou technique « spécialisé », c'est-à-dire en matière de teneur et de posture philosophique, éthique, ou pour des aspects méthodologiques. Car il demeure indispensable de garder du recul, de prendre une altitude sur le point de vue technique, *stricto sensu*. Notre propos a surtout visé à établir une synthèse qui, au-delà d'une compilation nécessaire, est aussi fondée sur une discussion et parfois une lecture critique. Il nous est parfois apparu utile de rendre compte très directement des propos des auteurs mais sans avoir trop abusé de la forme du résumé. Ainsi, sur la mise en forme écrite nous avons souhaité distinguer clairement le propos des auteurs que nous avons révisé, ou les synthèses que l'on aura faites, du propos critique du « réviseur » parfois assorti d'informations complémentaires ou de commentaires plus personnels. Ainsi le propos des auteurs est restitué dans le texte du rapport final en police de caractère standard alors que celui du réviseur est restitué en italique.

Après avoir livré, au terme des deux mois contractuels, un premier rapport provisoire au Getty Conservation Institute⁷⁶, le Comité scientifique a souhaité que les 3 thèmes initialement retenus soient appréhendés de façon plus spécifique et détaillée, en proposant une nouvelle répartition des différents sujets traités dans 8 sections sous-thématiques. Une deuxième révision des sujets regroupés dans ces 8 sections a été confiée, sur proposition du Getty Conservation Institute, à un corpus de chercheurs nord-américains et européens participant aux développements des activités de recherche du Projet TERRA. Les nouvelles sections sous-thématiques et les chercheurs associés sont les suivants :

- Section 1** : Le matériau terre : Bruce Velde ;
 - Section 1.1. : Minéraux argileux et matériaux en terre ;
 - Section 1.2 : Géologie des argiles et des matériaux en terre ;
 - Section 1.3 : Compactage des sols et des matériaux en terre à grains fins ;
- Section 2** : Eau, vent, sels, biologie, environnement, détérioration et pathologie : Leslie H. Rainer ;
- Section 3** : Relevé et évaluation de l'état : Claudia Cancino ;
- Section 4** : Interventions de conservation : Anne Oliver ;
 - Section 4.1. : Interventions de conservation pour les matériaux en terre non décorés ;
 - Section 4.2. : Interventions de conservation pour les sites archéologiques ;
 - Section 4.3. : Matériaux en terre modifiés ;
- Section 5** : Interventions et entretien des surfaces décorées sur l'architecture de terre : Leslie H. Rainer ;
- Section 6** : Ingénierie structurale et hydrologique : Richard Hughes ;
- Section 7** : détérioration sismique / pathologie de l'architecture de terre et interventions sismiques sur l'architecture de terre : Frederick A. Webster ;
- Section 8** : Situation générale en matière de monitoring de l'humidité et du contrôle biologique dans les murs des constructions en terre : Brian V. Ridout.

Nous rendons compte en deuxième partie de cet article, et de façon synthétique, des conclusions qui ont été apportées par l'ensemble des chercheurs associés à cette deuxième étape de la revue de la littérature sur la conservation des architectures de terre.

Enfin, nous proposons une conclusion générale en ce qui concerne l'évaluation des interventions et des traitements de conservation des architectures de terre.

Cette recherche ne constitue qu'une première étape de synthèse des connaissances dans le domaine couvert. Elle n'aura pas abordé l'intégralité des thèmes qui constituent l'ensemble du champ de recherche et d'application et gagnerait à être complétée. Nous espérons que ce travail puisse contribuer à mieux fonder les bases des investigations futures et aussi à fournir, en partie, des données utiles aux pratiques conservatoires des architectures de terre crue, dans les faits et actes des projets menés sur des terrains divers de par le monde.

⁷⁶ **Guillaud 2001** : GUILLAUD, Hubert – *Conservation des architectures de terre ; revue de la littérature scientifique des 15 dernières années*, éditions Projet TERRA (CRATerre-EAG / ICCROM / GCI), Grenoble, 2001, 234 p.

Première partie : Synthèse de la première phase de révision de la littérature selon les 3 thèmes initialement retenus : problématiques et conclusions thématiques.

Thème I – Connaissance des sols et analyse du matériau terre

I.1. - Identification et caractérisation des matériaux de construction en terre

Connaître le matériau

La conservation du patrimoine architectural, quel que soit les matériaux de construction qui ont été mis en œuvre par les bâtisseurs, et quelle que soit la valeur historique de ce patrimoine, met les opérateurs devant l'exigence de connaissance des matériaux. Dans le domaine de l'architecture en terre, cette connaissance est indispensable à plusieurs étapes de la démarche de conservation. Dans un premier temps, durant la phase nécessaire et incontournable de la documentation de l'objet architectural. Il s'agit alors « d'identifier », puis plus avant de « caractériser » le ou les matériaux de construction en terre. Cela, afin de définir, le plus clairement possible, c'est à dire scientifiquement, la nature, la constitution et la conformation du ou des matériaux, ainsi que leurs caractéristiques pour différents aspects « qualitatifs ». Au-delà de cette définition des propriétés « physiques » du matériau, l'identification et la caractérisation devront aussi être en mesure de fournir des indices sur d'autres éléments de connaissance fondamentaux. Par exemple sur l'histoire du matériau, en établissant les repères de datation. Ou encore sur la relation qui existe entre le matériau observé, étudié, analysé, avec l'environnement naturel du site archéologique ou des bâtiments historiques. Une relation qui renvoie les opérateurs à la nécessaire connaissance des sols où le matériau de construction a été prélevé, soit dans un environnement immédiat, soit plus vaste.

Dans un deuxième temps, lorsque la phase de documentation des matériaux de l'architecture aura été réalisée, se posera la question de l'intervention, de ses modes et pratiques, pour engager le processus conservatoire concret de telle ou telle partie de la structure construite, de tel ou tel élément ou système constructif. A cette étape, la connaissance du matériau, identifié et caractérisé, la prospection d'un gisement ou d'une carrière de terre dans l'environnement, dans une démarche guidée par le souci de produire et de mettre en œuvre des matériaux de construction répondant au mieux aux critères d'authenticité et/ou d'intégrité, s'imposeront comme un outil d'intervention essentiel. Mais, en-deça du déroulement méthodologique « orthodoxe » du processus de conservation structurale de l'architecture, c'est à dire en plaçant l'étape d'intervention au delà de la documentation la plus achevée possible de l'objet architectural, l'opérateur peut être très vite confronté à la décision d'une intervention préventive « urgente » visant à stopper l'évidence d'une dégradation active, ou pour le moins à la ralentir, à mettre le site ou l'édifice en état de risque minimum. Ce sont par exemple des réparations de base, ou des consolidations partielles du « construit ». L'identification et la caractérisation du matériau de construction de l'objet architectural apparaissent alors comme une étape de connaissance fondamentale et finalement comme un préalable indispensable pour fonder scientifiquement la méthode du processus conservatoire, et la pertinence comme la justesse de l'action de conservation.

Comment identifier puis caractériser le matériau ?

La plupart des approches et des méthodes scientifiques visant à établir la connaissance des matériaux de construction se suffisent à regrouper l'ensemble des procédures, observations, analyses, tests et essais, sous l'unique vocable de « caractérisation ». Mais, le savoir, comme d'ailleurs le savoir-faire, démontrent que si la finalité de la connaissance du matériau est bien de le « caractériser », les procédures qui jalonnent l'élaboration et l'expression du savoir passent par plusieurs étapes successives et distinctes décrivant une séquence méthodique. Pour le matériau terre, en partant du sol - ou de la carrière - pour rejoindre le pied du mur - on pourrait dire aussi « de la terre à la brique » - la séquence passe en première étape par une phase bien spécifique « d'identification » qui concerne précisément la connaissance scientifique du sol ou du matériau brut. Il s'agira notamment, sur le terrain, d'observer le matériau pour le décrire, en passant par un éventail d'analyses préliminaires, puis par divers tests, et de compléter cette première approche descriptive par des analyses et essais menés en laboratoire. En se référant alors, au terme de cette première phase de la séquence d'observation et d'analyse d'identification, à des abaques et des classifications, on sera en mesure de garantir une description scientifique du sol ou du matériau brut. Cette étape de connaissance est indispensable avant de passer à l'étape suivante - qui inaugure le processus de fabrication ou de production du matériau de construction - à une phase tout aussi indispensable, de « caractérisation », c'est à dire de définition des « caractéristiques » du matériau pour différents niveaux de connaissance qualitative. Cette deuxième étape permettra en effet de réaliser une série d'essais visant à mieux connaître le matériau en terre que l'on va soit bâtir directement (torchis, bauge ou pisé, par exemple),

soit mettre en œuvre sous forme de maçonnerie à l'aide d'un mortier (brique d'adobe). Ce sont alors des essais passant par des phases successives de mise au point et de performances visant à réduire les marges d'erreur qualitatives, des essais complémentaires de caractérisation s'ils s'avéraient nécessaires, des essais de contrôle et enfin des essais d'acceptation. Ces procédures de « caractérisation » sont réalisées simultanément sur le terrain, c'est à dire sur l'aire de production, et en laboratoire.

Un savoir très élaboré

Cette démarche que l'on vient d'énoncer, qui distingue l'étape d'identification de celle de la caractérisation, distingue aussi le matériau terre des autres matériaux de construction traditionnels les plus couramment employés, la pierre et le bois, par exemple, dont le processus de transformation, par l'homme, depuis le matériau brut jusqu'au matériau à bâtir (l'adobe par exemple) - ou même construit (le torchis, la bauge ou le pisé - apparaît finalement comme plus élaboré qu'on ne serait incliné à le penser. Car finalement, sans être trop réducteur, le bois ou la pierre mis en œuvre, ne sont-ils pas - bien que judicieusement choisis par les constructeurs sur la base d'une connaissance de leurs qualités constructives - des matériaux simplement « coupés » ou « taillés », puis assemblés. La maîtrise de la construction en terre n'exige-t-elle pas bien davantage lorsqu'il s'agit de composer avec deux sols différents qu'il faudra mélanger, d'amender un sol avec un autre matériau végétal ou minéral, lorsqu'il s'agit de définir la bonne teneur en eau, de stabiliser la terre avec tel ou tel liant hydraulique ou produits de synthèse chimique, ou quand il faut pétrir le mélange que l'on a préparé, puis le façonner directement en paroi de torchis ou en couches de bauge, ou de le mouler en blocs d'adobe, ou encore de le compacter de main d'homme et ainsi construire le mur en forme, directement (pisé) ? Que l'on ne voit pas dans ce propos une tentative de hiérarchisation de la valeur de telle ou telle culture constructive dans l'éventail connu, mais l'expression d'une relative complexité des savoirs et savoir-faire de la construction en terre. Ceux-ci résultent d'une très longue histoire fondant son origine dans l'aube de l'habitation de l'homme et nous sont parvenus par le chenal de la transmission orale et gestuelle en traversant les millénaires. Cela remet en valeur toute la dimension de l'empirisme et de l'expérience qui mériterait sans aucun doute d'être confrontée à l'expression écrite des savoirs et des savoir-faire fondant le corpus d'une théorisation et d'une démarche d'élaboration scientifique de la connaissance. Toutefois, l'objet de notre recherche se limitera ici à une révision de la littérature technique et scientifique récente couvrant les quinze dernières années de la production des savoirs et de l'expression des savoir-faire.

I.2. - Révision des pratiques connues d'identification et de caractérisation.

Quelles synthèses de l'état des savoirs ?

Quelles références, quels moyens ?

La littérature scientifique et technique récente dont nous disposons, couvrant les questions de l'identification des terres et de la caractérisation des matériaux de construction en terre, qui est accessible aux opérateurs de la conservation du patrimoine architectural en terre, est assez abondante. Cette littérature technique et scientifique est produite au carrefour de plusieurs disciplines parmi lesquelles on relève l'agronomie, la pédologie, la géotechnique, la minéralogie, la chimie. Confronté à cet éventail disciplinaire et à l'abondance de la production écrite des scientifiques et des techniciens, on ne peut qu'opposer en préalable les questions de la quantité et de la qualité de cette production. Car, au delà d'un repérage de ce qui constituerait un corpus de référence permettant d'isoler des sources « clé » indispensables, force est-on de constater une grande duplication de la production littéraire et donc de très nombreuses redondances. De plus, il faut ici relever que la littérature accessible est davantage issue des domaines de la géotechnique, de l'ingénierie ou de la construction et assez rarement du domaine spécifique de la conservation du patrimoine architectural en terre, domaine dont le périmètre scientifique n'est pas encore proprement défini. Ainsi, la question centrale soulevée par les chercheurs et les opérateurs est celle de l'absence de standards spécifiques pour la conservation architecturale du bâti en terre. Cette lacune renvoie ainsi les opérateurs à l'obligation d'adapter, ou de modifier, les standards de référence dont ils disposent issus de l'étude d'autres matériaux tels que les matériaux dits « poreux », ou bien les mortiers traditionnels. Enfin, si les opérateurs commencent à s'accorder sur le caractère indispensable de telle ou telle analyse, de tel ou tel test ou essai à réaliser pour garantir un bon degré d'identification et de caractérisation du matériau, ils existe encore une large latitude dans le choix des méthodes et des procédures, et également dans le choix des techniques et des équipements utilisés. Toutefois, pour revenir au niveau d'un « principe de réalité », ce sont finalement le plus souvent les moyens dont disposent les opérateurs (accès ou non à un laboratoire, degré d'équipement de ce laboratoire, distance des sites, p.e.), qui font la différence et qui imposent les procédures et modes d'analyse, de test et d'essai. On fait le plus souvent avec ce dont on dispose, physiquement, matériellement et financièrement.

De l'utilité de rares tentatives de synthèse

Depuis ces quinze dernières années, si de nombreuses publications rendant compte de recherches ou d'expérimentations se sont attachées à développer ou exposer des approches fragmentaires ou sectorielles, ou encore très spécifiques de la question de l'identification et de la caractérisation des matériaux et des modes de mise en oeuvre, peu de publications ont tenté une approche la plus complète possible, donnant à lire une synthèse, et donc à établir et proposer un « état actualisé » des savoirs et des savoir-faire. Il faut ici relever le *Earth Construction Primer* (Houben et Guillaud 1984), précédant une édition française (1989), puis une deuxième édition anglaise révisée (1994). Tout en s'appuyant sur des sources scientifiques antérieures d'autres auteurs, successivement publiées au delà de la Seconde Guerre Mondiale et principalement au cours des années 1950 à 1970, mais également en développant et en approfondissant un exposé publié dans un ouvrage précédent (*Construire en terre*, P. Doat et al. 1979), l'ouvrage de Houben et Guillaud offre à lire un propos plus complet sur les procédures et les modes opératoires des observations, analyses, tests et essais de terrain, comme de laboratoire. Il complète le propos opératoire et « méthodique » par des points de vue critiques, par la mise en évidence de paramètres qui influent sur les procédures d'identification et de caractérisation - et donc sur les résultats - auxquels s'ajoutent des interprétations présentant un intérêt autant scientifique que didactique. Il fournit une lecture comparée des principales classifications géotechniques (P & CH et USCS) identifiant la typologie des sols. Il précise les critères de convenance des terres pour la construction en terre, en général et pour telle ou telle mode d'utilisation croisant le type de texture des sols et leur état hydrique, ou encore pour des matériaux de construction spécifiques (adobe, pisé, par exemple). Il étend ce propos sur la convenance des terres à leur stabilisation, soit par ajout de liants hydrauliques courant (ciment, chaux), soit par ajout de bitume, soit par amendement en fibres végétales et éléments minéraux. Enfin, il tente une classification des caractéristiques des principaux matériaux de construction en terre, soit de leurs caractéristiques mécaniques, statiques, hydriques, physiques et thermophysiques, tout en faisant le point sur la question de la normalisation. Bien que le propos de cet ouvrage soit centré sur la « construction en terre » et qu'il soit conçu comme un guide technique pour les constructeurs contemporains engagés dans un processus de « réactualisation » des architectures de terre, il est aussi un outil de référence pour de nombreux opérateurs de la conservation du patrimoine architectural en terre qui l'utilisent et le citent très souvent dans leurs bibliographies.

I.3. - Conclusion du thème 1

Au-delà de la revue de la littérature couvrant ce premier thème de la connaissance des sols et analyse du matériau terre, nous pouvons dégager plusieurs conclusions.

La connaissance des caractéristiques et des propriétés des sols et du matériau terre, oblige à passer par un éventail d'analyses, de tests et d'essais, sur le terrain et en laboratoire, qui représente, dans l'acceptation complète de la procédure établie par la « norme » ou les « codes de bonne pratique », une démarche assez lourde à réaliser, prenant du temps, et sans aucun doute coûteuse. Mais il n'existe pas vraiment « une » procédure d'analyse complète universellement acceptée. La littérature montre clairement que les opérateurs acceptent assez unanimement des procédures d'analyse considérées comme « indispensables » pour permettre un bon niveau de caractérisation et de définition des propriétés du matériau, particulièrement pour les pratiques de laboratoire. Ce sont les analyses de distribution granulaire, ou de texture, par tamisage, complétées par une analyse des fines par sédimentométrie, se sont les analyses d'Atterberg pour la plasticité, ce sont enfin des analyses faisant appel à des équipements plus sophistiqués, pour définir la minéralogie des fines argileuses. Nous reviendrons sur ce degré de sophistication « possible » et « acceptable » pour ce type d'analyses.

En amont, il convient de relever que les analyses, tests et essais de terrain, alors qu'ils sont bien référencés par la littérature, semblent finalement assez peu pratiqués par les opérateurs, sauf par des techniciens spécifiquement formés pour ce faire. Nous y repérons une lacune importante. Car, ces pratiques de terrain permettent à l'évidence de « pré » caractériser et de « pré » définir les caractéristiques et les propriétés des sols et du matériau terre. De fait, sur ces base d'analyses de terrain, on peut envisager la définition d'orientations, d'une décision sur les choix d'analyses de laboratoire complémentaires qui devraient chaque fois être choisies pour leur caractère « indispensable » car ces analyses, coûteuses à très coûteuses, ne sont pas accessibles, financièrement, pour beaucoup d'opérateurs travaillant sur les sites, ne disposant que rarement de laboratoire locaux, ou sommairement équipés, et éloignés de laboratoires nationaux dont les niveaux d'équipement, selon les pays, sont encore très variables. Sans compter les limites financières des projets développés. On a d'ailleurs simultanément observé, au cours de ces dix dernières années, une pression de la demande en équipements d'analyses des terres, et de formation spécialisée des équipes de techniciens de laboratoire montrant qu'un réel besoin existe de par le monde, et qu'une importante lacune doit être comblée.

Tout est affaire de compromis, le plus efficace possible, entre les disponibilités en équipements et en compétences, entre les moyens financiers alloués au développement des projets de conservation et entre les contraintes ou potentialités des contextes géographiques (éloignement des sites des centres urbains équipés), et des contextes économiques (coût des transports). Chacun, selon ces moyens disponibles aura à s'adapter aux procédures existantes d'analyses, de tests et d'essais, pour atteindre un niveau de connaissance « suffisant et nécessaire » des caractéristiques et des propriétés des sols et du matériau. Bien sûr, lorsque des moyens plus complets sont disponibles et « accessibles », la procédure d'analyse peut accepter de passer par un certain niveau de sophistication des modes opératoires. Mais, nous sommes convaincus que toutes ces analyses plus complètes ne sont pas « toujours » indispensables. Perpétuel débat sur la fin et les moyens, dans leur réciprocity. Aussi conviendrait-il de mieux réfléchir à cette question de « l'adaptabilité » des procédures d'analyse, selon les types de matériaux, selon les contextes, pour mieux définir les cheminements opératoires absolument indispensables, *a minima*.

Par ailleurs, dans ce domaine particulier de la conservation du patrimoine architectural en terre, il conviendrait aussi, de mieux prendre en compte le principe d'intervention minimale, en intégrant davantage, au stade amont des analyses du matériau, des procédures non destructives ou très peu destructives. Être vraiment sûr que toute intervention visant à collecter du matériau original, *in situ*, pour l'envoyer vers un laboratoire, soit toujours réversible. De même pour tout type de tests de développement, d'essais de contrôle et d'acceptation, en privilégiant des programmes sur des murs-tests plutôt que sur les structures originales elles-mêmes. Ou alors, si cela s'avère nécessaire pour des questions d'échelle (observations en vraie grandeur et en conditions réelles de traitements proposés), être là aussi bien sûr de la réversibilité. Cette disposition éthique répondant aux grandes chartes de la conservation des patrimoines architecturaux (Venise, etc.) est fort heureusement de plus en plus intégrée.

Thème II – Pathologie et diagnostique de l'architecture de terre

II.1. - Une phase fondamentale dans le processus de décision

Il ne peut y avoir de projet d'intervention sur un quelconque patrimoine, quel que soit les matériaux avec lesquels il est bâti, sans que l'on ait, au préalable, relevé puis étudié l'état, analysé les pathologies dont il souffre. Le conservateur est bien le médecin de l'architecture qu'il entend conserver pour prolonger sa durée et la donner à voir ou à réutiliser aux générations futures. C'est sa vocation. A la fois généraliste et spécialiste, ce « médecin » de l'architecture se doit de bien identifier les maux dont souffre l'objet qu'il entend traiter. Mais au-delà de la seule phénoménologie (constat évident des maux), puis de la symptomatologie (étude de l'expression des maux), long est le chemin qui permet de remonter aux causes puis encore plus en amont, à l'origine des causes des maux pour pouvoir, le plus scientifiquement possible, établir un diagnostic et proposer des recommandations ou une « ordonnance » qui précisera les types de traitement à adopter ou les interventions à développer afin de garantir de bons soins. Au-delà de cette métaphore inspirée de la médecine, il convient de s'interroger sur les méthodes et sur les outils de l'analyse pathologique et du diagnostic. Car c'est bien là que réside la pertinence comme la cohérence et l'efficacité de cette phase essentielle qui précède le traitement et l'intervention. Or, notre révision de la littérature, sur cette question, fait apparaître à la fois des lacunes au plan théorique et des inadéquations, des simplifications, des manques, sur le plan pratique. Beaucoup de progrès a été fait sur cette question au cours des quinze dernières années mais il reste encore beaucoup à faire pour dépasser les hésitations de l'expérimentation, les arbitrages de décision et les empirismes de l'application. Suffisamment de réflexion et d'expérience sont aujourd'hui disponibles pour pouvoir, sans aucun doute, franchir un nouveau seuil de théorisation et d'efficacité pratique. Sur cette question des pathologies et du diagnostic de l'architecture de terre, dans l'optique spécifique de sa conservation, nous nous sommes principalement attachés à rendre compte de l'évolution de la pensée « théorique » et « méthodologique » au cours de ces 15 dernières années. La révision de la littérature nous a conduit assez naturellement à prendre cette option car il est apparu évident, au fur et à mesure des lectures, que cette période correspond à une recherche visant en premier lieu à définir un positionnement théorique et méthodologique spécifique des chercheurs comme des praticiens de terrain. Vers le début des années 1980, on peut dire qu'il n'existe manifestement pas encore de « système de pensée » concernant cette question et que la réflexion investit peu à peu un champ nouveau établissant son périmètre. On peut donc suivre les développements de cette pensée spécifique avec tout ce que cela suppose de propension à une « généralisation », une « globalisation », une « confusion », à des « hésitations méthodologiques ». Mais aussi l'évidence d'une « volonté de démarcation » par rapport à d'autres domaines techniques de la construction, tout en utilisant et réinterprétant les apports de ces autres domaines notamment au plan théorique; ou en s'appuyant sur l'interprétation des expériences développées par ailleurs, sur la conservation de l'architecture de pierre, par exemple. Ce n'est finalement que vers la fin des années 80, mais surtout au cours de la première moitié des années 90 qu'émerge petit à petit une pensée théorique et une méthodologie

propre à la question de l'analyse pathologique des constructions en terre et du diagnostique. Les insuffisances actuelles qui demeurent et qui ont pu être relevées concernent la prédominance du propos technique sur le propos « environnementaliste », avec néanmoins des tentatives récentes d'étendre le diagnostique au delà du seul niveau technique en intégrant aussi des considérations d'ordre social, culturel et économique. Des imprécisions demeurent qui concernent la méthodologie avec une simplification ou une « compression » des niveaux d'étude et d'analyse depuis l'observation des phénomènes à l'interprétation des causes et de leurs origines, mais davantage au plan scientifique en n'ayant pas encore bien établi les niveaux d'étude et d'analyse différenciés entre le « macro » et le « micro » pathologique. Une distinction qui d'ailleurs ne peut pas être aussi simpliste car l'objet est très complexe et car il y aurait sans doute à définir d'autres niveaux d'étude et d'analyse, avec leurs interfaces, entre les échelles « macro » et « micro ». Il nous semble en effet qu'il y a là matière à avancer pour mieux clarifier le propos théorique et scientifique et pour en favoriser les répercussions sur le plan pratique.

L'autre aspect qui mérite aussi d'être relevé, c'est l'écart entre la pensée théorique et son « applicabilité » sur le terrain. Car, en l'état actuel d'élaboration de la méthode d'analyse des pathologies et de définition du diagnostique, les chercheurs ont élaboré un outil de travail dont l'utilisation « rigoureuse » et « exhaustive » prend sans aucun doute beaucoup de temps et de mobilisations humaines, matérielles comme financières. Or, la réalité montre encore le plus souvent que le temps et les moyens peuvent manquer pour exploiter « à plein » cette pensée théorique et cette méthode, dans les faits opératoires. Les opérateurs sont en effet souvent confrontés à une certaine vélocité d'analyse et de prise de décision, à une pénurie de moyens, qui les conduisent à simplifier considérablement l'utilisation de l'outil théorique et méthodologique, dans le cadre de missions de « relevé des conditions » ou de « l'état » qui demeurent « préliminaires », à établir des fiches de diagnostique « simplifié », à s'en tenir là et à proposer presque aussi immédiatement des interventions, le plus souvent urgentes car nécessaires pour garantir la préservation des biens menacés. Au delà des « évidences », le passage à une phase ultérieure plus complète d'analyse, d'évaluation et d'interprétation d'un plus large spectre d'hypothèses, de mesures et de « *monitoring* » ne s'opère pas aussi souvent qu'on pourrait le croire. Il y a donc lieu de s'interroger sur la définition de différents niveaux de simplicité et de complexité, de réduction et de rigueur, de « faisabilité » opérationnelle des outils théoriques et méthodologiques d'analyse-diagnostique, de façon à garantir, en fonction des contextes et des ressources, une qualité suffisante et « indispensable » de l'analyse à même de fonder l'efficacité des interventions sur un niveau de pertinence et de cohérence « absolument » nécessaire du diagnostique préalable et de l'analyse qui l'accompagne.

II.2 - Conclusion du thème 2

Au terme de notre révision de la littérature couvrant le deuxième thème de la pathologie et du diagnostique, plusieurs conclusions peuvent être relevées.

Si les pathologies de l'architecture de terre, structurales et d'humidité, sont désormais davantage connues du point de vue de l'observation des phénomènes et des symptômes, l'explication de leurs causes demeure toujours un exercice analytique difficile et plus difficile encore est la compréhension de l'origine des causes pourtant indispensable afin de bien traiter les problèmes. Car il n'y a pas souvent et aussi simplement « une » cause et « un » effet. Il y a le plus souvent un système de causes qui se répercute sur une suite de conséquences agissant par « effet domino ». Dans cette logique, il convient de prendre du recul sur la seule observation macro-visuelle des pathologies du matériau et même des structures. Il convient d'étudier un plus large « environnement » historique, physique, climatique, économique, social et culturel, mais également politique dans le cas où aucune direction, aucune stratégie et aucun plan d'action ne sont adoptés. Cela a été relevé par plusieurs auteurs mais l'on sait combien, dans les faits de l'analyse, il est difficile de prendre ce recul nécessaire en admettant que l'édifice en terre « vit » avec son environnement et qu'il faut peut-être, d'abord, ou pour le moins simultanément, faire un diagnostique de l'environnement. L'interaction des facteurs climatiques (pluie, soleil, vent) n'est à notre sens pas assez prise en compte. De même, à trop vouloir protéger - voire « blinder » la terre crue - des actions de l'eau, peut-être commet-on davantage d'erreurs (manque de respiration, d'évaporation, perte de cohésion). Par ailleurs, si l'on peut admettre qu'il existe une « typologie récurrente » de pathologies de structure et d'humidité, chaque édifice étudié, analysé, demeure toujours un « cas unique » à considérer dans son contexte.

Les méthodes de l'analyse-diagnostique fondées sur la qualité d'un travail préalable de relevé des conditions ou de l'état des édifices en terre, qui ne doit rendre compte que des faits, sans interprétation trop hâtive, ont considérablement évolué au cours de ces 15 dernières années pour s'établir dans la spécificité d'un domaine scientifique et technique propre. Mais, ces méthodes sont encore l'expression de l'évolution d'une recherche scientifique qui commence à peine à poser ses fondements théoriques. C'est dire l'écart qui peut demeurer quant à l'appréhension concrète de ces bases de théorisation et de ces outils méthodologiques, dans les faits de l'étude et de l'analyse-diagnostique, sur le terrain. Ainsi,

la littérature révisée montre bien combien le relevé de conditions constitue très souvent un pré-diagnostic sommaire, trop rarement suivi d'une analyse fouillée qui permettrait, avec une vraie campagne de « *monitoring* » des pathologies, de bien identifier les pathologies et surtout les causes de leur genèse. Pourquoi en est-il ainsi ? Peut-être parce que l'intervention de stabilisation et de préservation « d'urgence », prennent le pas sur le projet de « conservation » et de « gestion » à moyen et long terme. Peut-être aussi parce que les moyens financiers attribués aux projets de conservation des architectures de terre (sites archéologiques et édifices historiques), ne sont pas suffisants pour autoriser cet investissement analytique amont pourtant si indispensable. Car, il faut encore le rappeler, il ne saurait y avoir de bonne conservation sans bon diagnostic. Il est en effet nécessaire que l'on prenne une plus juste mesure de « l'obligation » d'investissement, en moyens, comme en temps, dans le relevé des conditions et dans l'analyse-diagnostic intégrant plus concrètement le « *monitoring* » des pathologies, encore souvent négligé.

Comme on l'a exprimé, dans notre conclusion de la première partie, s'il y a matière à définir des procédures d'analyse des matériaux plus « adaptables » et « accessibles », il y a certainement matière à faire de même pour mettre à la disposition des opérateurs, des outils de diagnostic d'un usage plus flexible et « appropriables », aux performances mieux adaptées, selon les objets traités, les niveaux de problèmes rencontrés, les compétences mobilisées et les contextes d'opération. Etablir, dans ce domaine, un langage interdisciplinaire commun (archéologie, architecture, conservation), fondé sur l'existence de théories, de méthodes et d'outils pratiques plus universellement acceptés par la communauté des scientifiques et des praticiens de terrain.

Il y a certainement aussi des approches plus spécifiques à mieux développer, notamment pour aborder les différentes techniques de construction en terre. Car, nous avons, à ce jour, à notre disposition, soit un propos trop « généraliste », qui entend couvrir l'ensemble des techniques de construction en terre (torchis, bauge, adobe, pisé), ou des propos déjà un peu plus spécialisés, comme pour l'adobe, alors que les autres techniques n'ont pas encore établi leur spécificité dans ce domaine de l'analyse-diagnostic. Il y a bien pourtant des différences de comportement entre des systèmes de construction mixtes (bois et terre pour le torchis), monolithiques (bauge et pisé), ou en maçonnerie (adobe).

On a pu également remarquer que l'étude et l'analyse des « micro-pathologies » et de la biodégradation, sont trop peu développées. Ce sont là, certainement, de nouvelles voies de recherche mais qui, là encore, ne doivent pas être isolées de la prise en compte de l'objet construit, de son architecture, dans leur plus grande dimension, et d'un plus large environnement. Quoi qu'il en soit, les causes, les facteurs et les mécanismes de cette biodétérioration des architectures de terre doivent être mieux connus afin de pouvoir rechercher des formes, techniques et produits de traitement plus efficaces, plus durables. Un regard plus attentif sur les connaissances, les techniques, les produits utilisés pour le traitement de la biodétérioration, dans des domaines technologiques collatéraux (pierre, bois, céramique, métaux, autres matériaux organiques, etc.), serait sans aucun doute utile pour fonder les voies de la recherche pour l'architecture de terre.

Enfin, il faut reconnaître que les recherches en matière d'étude et d'analyse des dommages sismiques causés aux architectures de terre, ont considérablement apporté aux connaissances scientifiques, au cours de ces 15 dernières années. Les apports des recherches des Universités de Stanford et de Berkeley (U.S.A.), de Lima (Pérou) et du programme GSAP (Getty Seismic Adobe Project), soutenu par le Getty Conservation Institute, et sans doute aussi d'autres programmes qui nous sont moins connus, ont contribué à la genèse d'un savoir commun aux chercheurs et aux praticiens qui travaillent sur ces questions. La typologie des pathologies sismiques des architectures de terre (au moins pour l'adobe et un peu moins pour le pisé, le torchis), est désormais connue. Quant aux modes d'intervention, qui sont plus directement abordés dans le troisième thème « Interventions et traitements », au plan préventif, comme au plan de la réhabilitation rétroactive, une véritable révolution a été réalisée en prenant davantage en compte la stabilité et l'intégrité structurale des édifices, comme leur ductilité, plutôt que leur renforcement ou leur confinement. La meilleure prise en compte critique des « cultures constructives parasismiques » ajoutera certainement à cette révolution. Mais il y a toujours des querelles d'école. En tout cas la science comme les opérateurs gagneraient à disposer d'une réelle synthèse de la question.

Thème III – Interventions et traitements

III.1. - Quelle philosophie, quelle attitude, quel regard sur l'objet, et quelle échelle d'intervention ?

Les phénomènes et les symptômes des maux dont souffrent les architectures de terre ont été constatés, observés, puis relevés, de manière à dresser un état le plus clair possible des pathologies qu'il faudra traiter. Face à la nécessité de l'intervention, les conservateurs des patrimoines architecturaux en terre sont longtemps restés démunis n'ayant pas de cadre de référence théorique spécifique et encore moins d'outils pratiques pouvant guider leurs actions. Très souvent, le constat dramatique d'une dégradation rapide des vestiges archéologiques en terre mis au jour par les fouilles archéologiques, ou d'une détérioration des bâtiments historiques abandonnés, non utilisés, ou encore mal entretenus, met les conservateurs soucieux de préserver la valeur des ressources culturelles sur lesquelles ils travaillent en situation « d'urgence ». Il faut en effet « sauver » ces ressources pour « préserver » la mémoire de l'histoire du genre humain. Il faut préserver pour « transmettre » ce legs aux « générations futures ». Pour autant, « l'urgence » est-elle bonne conseillère au-delà de son invitation à « agir » le plus rapidement possible ? Cela n'est pas si sûr car bon nombre d'expériences faites dans l'urgence montrent trop souvent qu'elles sont plus préjudiciables que valables. A regarder de trop près l'objet sur lequel on doit intervenir, qui dans le cas de l'architecture de terre n'est pas un artefact exposé dans un musée, on oublie de considérer l'environnement qui agit sur l'objet, on oublie le système d'équilibre qui résulte de leurs interrelations, de leur interactions, de leur « inter-respiration ». Ainsi, l'intervention trop directe sur l'objet et dans l'urgence contribue à rompre le système d'équilibre, à installer un « déséquilibre » qui alimente, accélère, le processus de dégradation.

L'attitude qui consiste à mettre en application le concept de conservation « préventive », c'est à dire à réaliser une intervention « minimale » et « réversible », avant d'envisager d'autres interventions qui pourront garantir une conservation plus « durable », ne doit pas être oubliée ou même négligée. La conservation des architectures de terre exige une attitude fondée sur cette philosophie et cette éthique. Une attitude plus « douce » que « dure ». Et peut-être, du point de vue métaphorique déjà pris, une médecine plus « homéopathique » « qu'allopathique ». C'est selon la gravité des maux à soigner dira-t-on. Sans doute. Mais il convient certainement de ne pas oublier de soigner aussi l'environnement qui est le plus souvent à l'origine des problèmes observés, ou pour le moins de reconnaître sa présence agissante, et de savoir « dialoguer » avec lui, de bien vouloir et savoir « s'associer » avec lui.

De plus en plus nombreux opérateurs du domaine de la conservation architecturale, de plus en plus de chercheurs s'interrogent sur cette question de la philosophie et de l'attitude devant guider l'intervention, en considérant les différents niveaux « d'échelle », depuis le « macro » environnement, au « micro » environnement.

III. 2. –Conclusion du thème 3

Au-delà de la revue de la littérature couvrant le troisième thème des interventions et traitement, plusieurs conclusions s'imposent.

La question de l'intervention et des traitements visant à traiter les pathologies de l'architecture de terre dans le but de rétablir un système d'équilibre entre les matériaux, les systèmes de structure et de construction, l'architecture et son environnement, est essentielle. Cette intervention et ces traitements ne sauraient être engagés ou appliqués, sans définir au préalable un ensemble de « stratégies » répondant à l'objectif de préservation de l'objet, à court terme, puis de conservation et de mise en valeur, à moyen et long terme. Ces stratégies, fondées sur l'évaluation de l'état et sur un bon diagnostic, mais aussi sur une mise en perspective, une « projection », précisent le degré d'intervention et de traitement, avec les mobilisations humaines, matérielles et financières, s'appuyant sur le déploiement de techniques, de procédés de préservation et conservation dont l'éventail est large. Mais, selon les objectifs que l'on se donne, il est possible d'intervenir à différents niveaux et à différentes échelles de l'objet architectural. On peut ainsi engager des actions de stabilisation et de réparation de base, en intervenant d'abord sur les abords immédiats de l'objet (nettoyage, désherbage et débroussaillage, drainage), puis, de façon minimale sur l'objet lui-même (réparation structurale de la base des murs (réintégration, reconstruction partielle, construction de talus de drainage, réparations de toitures, de gargouilles, d'acrotères, réparations de parties dégradées, etc.). L'objet traité est mis en situation de « risque minimum ». Ces interventions de stabilisation et de préservation une fois réalisées, si elles s'avéraient nécessaires, il est alors possible d'intervenir à d'autres niveaux, à d'autres échelles, en application de stratégies sur le moyen et le long terme, et en mobilisant d'autres techniques et modes d'intervention, d'autres moyens.

A ce stade, mais tout en l'ayant déjà anticipé, se pose la question d'un meilleur contrôle de l'environnement et d'un entretien régulier pour garantir le rétablissement et le meilleur fonctionnement possible du système d'équilibre réinstauré, dans une plus large dimension, au delà de l'objet traité et de sa proximité immédiate et en intégrant le facteur temps (durée). Plusieurs types d'intervention et de traitements sont alors possibles que l'on aura passé en revue dans cette troisième partie de notre révision littéraire. Mais revenons sur quelques unes de ces interventions qui semblent retenir davantage l'intérêt des chercheurs et des opérateurs.

La question de la protection qui a été notamment résumée par quelques auteurs (Stevens 1985 et Jerome 1991), ne peut être limitée à des considérations sur l'esthétique des systèmes d'abris ou de toitures même si l'impact sur les sites ou édifices conservés, et sur le paysage environnant, sont un aspect décisif de la question. Cela a été clairement relevé pour qu'il ne soit plus nécessaire d'y revenir. Mais, les impacts, les effets, de ces abris de protection sur les objets archéologiques ou architecturaux traités demeurent très préoccupants lorsqu'ils contribuent de nouveau à rompre le système d'équilibre et à engendrer de nouvelles pathologies. Nous avons observé un cas patent sur le site de Chan Chan, au Pérou alors qu'un bâchage de protection contre le phénomène du Niño et ses pluies diluviennes amenaient une modification du taux d'hygrométrie ambiante causant un assèchement accéléré des vestiges mis au jour et une perte décisive de cohésion de la matière venant à un état pulvérulent. Ce risque ne doit jamais être sous-estimé et il est vraiment important de le souligner encore.

Par contre, le procédé visant à « enrober » les vestiges par une couche d'enduit de protection ou par des matériaux stabilisés sacrificiels, qui contribue de fait à dissimuler les matériaux d'origine, peut être très discuté, au plan éthique comme au plan technique (risque d'imperméabilisation, de blocage de la respiration des matériaux, avec les conséquences que l'on connaît). L'enrobage, s'il est utilisé devrait plutôt utiliser des solutions respirantes tout en garantissant une résistance à l'érosion et aux dilatations thermiques différentielles (nuit/jour, saisons). Jusqu'à quel point faut-il se préserver, voire se protéger, se « blinder » des éléments naturels (pluie, vent, soleil), ou quelles latitudes avons-nous pour « jouer » avec eux, pour « faire alliance ». Il n'est en effet pas sûr que l'on ait jusqu'alors abordé la question de la conservation des architectures de terre sous cet angle de vision.

L'intervention de protection des vestiges exposés à l'érosion et l'abrasion des éléments, par « *capping* » (chapeau de protection), a été relevée comme une priorité par beaucoup de chercheurs et d'opérateurs qui ont largement expérimenté dans ce domaine avec des résultats plus ou moins bons. La synthèse de cette question proposée par Michel Romero Taylor (1987) devrait davantage guider les opérateurs pour intervenir plus efficacement, en connaissance des problèmes posés et surtout des raisons de faire appel à ce procédé, tout en mieux maîtrisant les pratiques d'intervention.

L'intervention de préservation-protection par « *backfilling* », ou ré-enterrement, a été relevée par beaucoup de chercheurs et d'opérateurs comme l'un des meilleurs procédés, si ce n'est « le » meilleur. Il est à la fois adapté pour protéger les aires fouillées, en cours de documentation (entre les campagnes de fouilles) ou une fois documentées, lorsque les aires concernées, soit ne méritent pas d'être présentées, soit doivent être impérativement protégées du fait de leur très grande valeur culturelle. On aura vu combien la recherche a investi ce domaine d'intervention en visant à optimiser le procédé, notamment en recherchant de nouveaux types de sédiments et/ou de matériaux de comblement, ou bien en l'associant à des solutions de drainage. On aura vu aussi les problèmes que peut poser un *backfilling* partiel entre des aires adjacentes. D'autres évaluations sur le site du *Pueblo Grande* de Chaco Canyon (Nouveau Mexique), proposées par Dowdy et Taylor (1993), apportent de nouveaux éclaircissements et d'autres arguments décisifs sur l'intérêt et l'efficacité de ce procédé de « *backfilling* » après plusieurs années de protection sans que l'on ait à observer des dégâts majeurs. Dans ce contexte, le rôle du climat local et de l'équilibre hygrométrique de la matière garantissant une bonne cohésion, apparaissent décisifs.

On aura aussi révisé les procédés d'intervention visant à traiter les problèmes de capillarité à la base des murs. Et l'on aura perçu combien les expérimentations variées qui ont pu être développées pour innover en la matière, donnent des résultats très inégaux. On aura aussi vu que les procédés visant à intervenir sur les « effets » de la capillarité, et non sur les « causes », peuvent être discutés, voire remis en question. Les solutions de drainage de la base des murs, traditionnelles et adaptables, améliorables avec les solutions de « géodrains », selon l'ampleur des problèmes posés, selon les types de structures, et selon la nature des sols environnants, associées à un entretien régulier ne semblent-elles pas finalement être celles qui offrent le plus de possibilités ?

Pour ce qui concerne les interventions sur les structures, on aura révisé notamment les procédés de réintégration et/ou reconstruction partielle des structures endommagées, ainsi que le rebouchage des fissures. On aura bien compris que la question de la « compatibilité » des matériaux de traitement utilisés, avec les matériaux d'origine, est fondamentale pour garantir la qualité de ce traitement visant à rétablir l'intégrité de liaisonnement et de stabilité des structures.

Les principes et procédés de réparation ou de « mitigation » des dégâts sismiques, ont réellement progressé au cours de ces 15 dernières années. Les recherches menées dans les universités américaines de Californie et au Pérou, prolongées par le projet *Getty Seismic Adobe Project* (GSAP) du *Getty Conservation Institute* (GCI), associées aux observations de terrain sur des bâtiments en adobe endommagés par les séismes, auront directement contribué à mieux connaître le comportement des structures en terre exposées au risque sismique. Mais, ces travaux auront aussi permis de proposer une typologie de mesures efficaces pour les interventions de réhabilitation rétroactive. Les interventions de caractère « préventif » en sont également améliorées et l'on sait mieux aujourd'hui distinguer l'efficacité, comme la pertinence d'intervention de renforcement, de confinement, ou d'amélioration de la stabilité.

La question de la protection de surface des structures en terre est sans doute l'une des plus vaste, et complexe également, du fait d'un éventail de plus en plus large de techniques d'intervention, de matériaux et de « produits ». L'intérêt de la réhabilitation des techniques d'enduits et de badigeons traditionnels a été confirmé par plusieurs expériences mais, la récupération des savoir-faire comme la nécessité d'un entretien périodique, demeurent à la fois un atout et une contrainte. L'évolution des recherches en matière de consolidation chimique aura donné de nouvelles ouvertures, tout en ne garantissant pas une égalité des résultats qui demeurent sujets à de nombreux facteurs intrinsèques et extrinsèques pouvant optimiser ou contrarier l'efficacité des traitements. On aura aussi vu les hésitations des opérateurs sur le choix des techniques (préparation en solution aqueuse ou en solution de solvant catalyseur, imprégnation par aspersion ou par badigeon, application à l'état sec ou à l'état humide), et sur le choix des produits dont la gamme n'a cessé de s'élargir (résines, émulsions acryliques, monomères, copolymères, éthyles silicates et polysilicates, etc.). Ces hésitations ont pu conduire certains à ré-expérimenter des produits « naturels » et donc à prendre à nouveau acte de la nécessité d'un entretien périodique. Mais, ces recherches sur la consolidation chimique auront surtout permis de mieux préciser les paramètres de l'efficacité des traitements. On aura ainsi pu relever le rôle joué par la texture des terres (matériaux à dominante silto-argileuse ou à dominante sablo-argileuse), par leur minéralogie (stabilité des argiles), par la condition physique des matériaux (cohésion notamment) et les réactions qui peuvent s'en suivre. On aura vu les améliorations certaines apportées par quelques produits chimiques comme les effets pervers, voire dramatiques. On aura aussi compris qu'une hydrophobisation trop poussée peut être très dangereuse et qu'il convient, tout en imperméabilisant, de conserver une texture assez ouverte pour garantir l'évaporation de l'humidité sous forme liquide, comme de vapeur. On aura aussi bien compris le rôle du climat ambiant et l'impact de la variation des régimes de température diurne et nocturne, ou des climats saisonniers, sur l'efficacité des traitements. On aura enfin vu que des interventions « douces » sont toujours possibles et qu'elles peuvent donner d'excellents résultats.

Les modes d'intervention plus complexes, voire sophistiqués, visant à conserver les surfaces décorées, ont également bénéficié des progrès accomplis dans la consolidation chimique. Certains produits ont été repérés comme donnant d'excellents résultats avec, semble-t-il un avis partagé par la communauté des opérateurs spécialisés dans ce domaine très « pointu ». Les propos de Constance S. Silver, (1990), de Franck Matero, (1995), de Ricardo Morales Gamarra, (1994), de Francesca Piqué et Leslie Rainer, (1996), nous auront éclairé sur les procédés de stabilisation et consolidation, de ré-attachement par « *grouting* » (injection de barbotine), de compensation, de détachement et réintégration, et d'anastylose. Ce sont des techniques qui doivent être considérées comme très au point et d'une grande efficacité mais qui exigent une grande délicatesse d'intervention au risque de ruiner davantage les vestiges les plus dégradés.

Enfin, on aura aussi remarqué les lacunes importantes qui demeurent quant à la question des interventions pour le traitement de la biodétérioration des matériaux de construction en terre. En effet, ce domaine spécifique commence à peine à être investi par les chercheurs, si fait que l'on n'est pas encore en mesure de le discuter, au-delà d'une simple introduction.

Deuxième partie : deuxième phase de révision de la littérature selon les 8 sections sous thématiques retenus *a posteriori*.

Nous proposons une synthèse des contributions des chercheurs sollicités dans un deuxième temps de révision de la littérature par le Getty Conservation Institute, à partir d'un rapport provisoire qui a été édité en 2003. Nous avons présenté cette synthèse lors de la 9^{ème} Conférence Internationale sur l'Etude et la Conservation des Architectures de terre, Terra 2003, qui s'est tenue à Yazd en Iran à la fin de novembre 2003. Les conclusions de cette révision de la littérature ont surtout mis l'accent sur les tendances de la recherche en conservation des architectures de terre qu'il conviendrait de développer.

Principales conclusions de la Section 1 :

Minéraux argileux et matériaux en terre; géologie des argiles et des matériaux en terre ; compactage des sols et des matériaux en terre à texture fine.

Les méthodes courantes d'identification des propriétés des argiles, avec leurs protocoles spécifiques (diffraction aux rayons X, stabilité thermique, spectroscopie aux infrarouges) ne permettent pas une pleine compréhension de ces propriétés. Les résultats obtenus par chaque méthode doivent être systématiquement et globalement comparés avec ceux obtenus par d'autres méthodes de façon à proposer un diagnostic correct.

Sont suggérées les pistes de recherche suivantes :

Développer davantage d'étude et de recherche sur les effets des variations d'humidité dans les structures en terre au cours de leur vie.

Développer davantage d'étude et de recherche sur les effets des cycles de mouillage et séchage du matériau.

Expliquer pourquoi les argiles tiennent ensemble ? Davantage de recherche serait utile pour expliquer la cohésion et la perte de cohésion du matériau terre.

Principales conclusions de la section 2 :

Eau, vent, sels, problèmes biologiques et environnementaux, détérioration/pathologie.

Le matériau terre a prouvé qu'il est un excellent matériau de construction durable lorsqu'il est correctement mis en oeuvre. La détérioration est plus une question de perte de savoir-faire, d'introduction de nouveaux matériaux de réparation, souvent inappropriés, d'un manque d'entretien régulier, et autres interventions de nature humaine.

Il est suggéré de développer davantage de recherche dans ces directions:

Développer plus d'études et de recherches sur les processus de détérioration pour chaque technique de construction particulière : torchis, bauge, gazon, adobe, pisé.

Engager des recherches approfondies sur les causes et sur quelques effets types de la dégradation des adobes (briques crues).

Développer des recherches sur la cristallisation saline dans les matériaux en terre (considérant que jusqu'à présent de telles recherches ont principalement porté sur la pierre et la brique cuite).

Etudier davantage les effets du gel et de l'érosion saline (effet mutuel).

Développer plus de recherche sur la relation entre la cristallisation saline et la porosité des matériaux en terre (considérant que jusqu'à présent les recherches ont principalement porté sur la pierre et la brique cuite).

L'étude de la détérioration biologique et de la pollution environnementale devrait être plus spécifique aux matériaux et structures en terre. La terre n'a que très peu été considérée dans l'éventail des matériaux poreux

Principales conclusions de la section 3 :

Documentation, relevé de l'état et évaluation:

Il n'existe pas beaucoup de situations où la technologie "avancée" a permis d'atteindre les objectifs généraux de conservation dans les domaines du relevé et de la documentation. Peu d'auteurs ont relevé l'intérêt et l'utilité de la théorie de la gestion pour la conservation des sites en terre, avec une approche spécifique. En effet, très peu a été écrit sur les aspects de la documentation pour les sites en terre considérée comme partie intégrante de la méthodologie de gestion. Aucun programme systématique visant à définir un protocole de relevé et de documentation des sites en terre a été développé considéré comme partie intégrante de la méthodologie de gestion.

Très peu d'inventaires ont été conçus et mis en oeuvre avec une compréhension initiale claire de leurs objectifs, méthodes et apports, et ont été de ce fait adaptés et utiles dans le temps. Il n'y a pas assez de connexion entre l'emploi des inventaires, des relevés en tant qu'outils de documentation de façon à fournir l'information utile à un processus de décision concernant la gestion du patrimoine culturel.

Il existe un fossé entre les rapports de diagnostic et d'analyse structurale et leur utilité pour garantir de meilleures interventions sur les sites et le suivi (monitoring) de ces interventions. Il n'y a pas assez de compréhension de la signification du relevé structural et du suivi (*monitoring*) considéré comme un élément fondamental d'une évaluation étiologique des ouvrages.

La recherche a fait des progrès majeurs dans le domaine de la conservation des peintures murales en rapport avec la mise en application de systèmes innovants de documentation.

Il est suggéré de :

Connecter de manière plus spécifique la recherche sur le relevé et la documentation avec la conservation des sites en terre et inscrire dans une perspective de gestion des ressources patrimoniales : principes directeurs, stratégies et plans d'action.

Principales conclusions sur la Section 4 : Interventions

Principales conclusions sur la Section 4.1.: Interventions de conservation sur les matériaux en terre non décorés.

Il existe encore beaucoup de questions qui exigent davantage d'attention dans le domaine propre de l'architecture de terre et concernant le nettoyage et la désalinisation :

- Quels sont les effets des sels sur les consolidants ?
- Est-il possible d'opérer une désalinisation après une consolidation ?

Le type courant de recherche *ad hoc* sur les consolidants organiques synthétiques a rejoint son terme. La définition de guides de recherche standard et de leurs modes d'exécution permettrait de développer divers projets de recherche avec une approche comparative.

Il est suggéré de :

Développer les recherches sur la façon dont les consolidants vieillissent et ne sont plus actifs sur le matériau terre ne fait pas assez l'objet de recherches : évaluations in situ aussi bien qu'études en laboratoire.

Définir des recherches sur les impacts et l'efficacité d'un renouvellement des traitements avec un consolidant identique, ou avec un autre matériau de conservation. Deux sujets sont très critiques :

- *Le suivi (monitoring) intensif des effets du microclimat dans différents domaines de recherche;*
- *La question de l'entretien des protections de surface (enduits, barbotines, etc.).*

L'efficacité des barbotines pour la réparation des surfaces en terre doit faire l'objet de davantage d'évaluation et de recherche, avec :

- *Des recherches sur le degré d'adhérence entre les barbotines et le matériau terre original.*
- *Des recherches sur les méthodes visant à améliorer l'adhérence par une pré-humidification à l'eau ou avec des solvants organiques polaires ou non polaires, ou autre substance adhésive ou tensio-active.*
- *Evaluer l'efficacité à long terme des barbotines.*

Développer davantage de recherche scientifique sur les consolidants organiques naturels pour mieux connaître leurs propriétés et leurs performances.

On observe beaucoup trop d'écarts entre les résultats obtenus sur des matériaux récents (en laboratoire), et sur les matériaux anciens originaux (in situ). D'autres recherches visant à expliquer les raisons de telles différences pourraient aider à mieux définir les recherches en laboratoire comme les recherches expérimentales sur murets tests, in situ.

Principales conclusions sur la section section 4.2 : Interventions de conservation sur les sites archéologiques

L'étude d'un large corpus de sites ayant fait l'objet d'un suivi, mais qui n'ont pas été traités, serait en mesure de fournir une information intéressante sur les processus de détérioration et sur la validité d'une absence de traitement considérée comme option de préservation, sous certaines circonstances.

Principales suggestions :

Sur la politique, la planification et la gestion des sites archéologique il apparaît nécessaire de :

- Synthétiser l'information;
- Développer un cadre de recommandations avec leurs procédures d'exécution;
- Produire un guide d'assistance à la planification et au processus de prise de décision pour les opérateurs de la préservation des sites en terre.

Sur les mesures de prévention durant les fouilles davantage de recherche est suggéré pour les axes suivants:

- L'emploi de barrières pare vapeur temporaires ou d'isolants;
- D'autres moyens de contrôle du taux de séchage;
- La désalinisation;
- L'installation de protections contre les murs ou les finitions fragiles;
- Le déplacement d'éléments architecturaux à partir d'un site pour leur stabilisation.

Pour les chapeaux de protection des murs, il serait utile de considérer les aspects suivants :

- Séparer et quantifier les effets de l'érosion naturelle sur les parties hautes de murs des effets de toute autre forme d'érosion accélérée qui pourrait provenir des chapeaux de protection ;
- Les effets de la conception des chapeaux de protection;
- L'évaluation de l'emploi de repères de suivi (monitoring) dans les chapeaux de protection pour une meilleure évaluation de la localisation des érosions et une quantification du taux d'érosion.
- De bien relever le processus exact d'accélération de l'érosion que certains types de chapeaux peuvent causer sur les murs de terre;
- Développer la recherche sur des solutions alternatives de matériaux de protection et sur la conception des systèmes de chapeaux de protection de façon à améliorer la durabilité et à réduire le processus d'érosion accélérée;
- D'autres champs d'investigation sur les chapeaux de protection méritent d'être considérés : la nécessité ou non d'une telle protection, le coût, la reproduction, la facilité de mise en oeuvre, la fréquence et l'augmentation de l'entretien, et l'esthétique des systèmes de chapeaux.

Sur les abris il serait important de considérer :

- Davantage de recherche et d'évaluation sont nécessaires sur la distinction entre les abris temporaires et permanents, et les abris saisonniers ;
- Davantage d'études sur les coûts des abris, sur leurs bénéfices potentiels et d'autres options de conservation présentent une réelle utilité ;
- Des études comparatives devraient être menées sur différents types d'abris, leur conception et les matériaux de construction.
 - o Sur le ré-enterrement, l'enterrement et la stabilisation des sites il est suggéré de :
 - Quantifier l'effet des différents matériaux de remplissage et des modes de réalisation sur les vestiges archéologiques et sur leur efficacité
 - à stabiliser l'environnement;
 - D'étudier la distinction entre un enterrement temporaire (entre les campagnes de fouilles), et un enterrement durable, les méthodes, les types et quantités de matériaux utilisés;
 - Développer les études visant à élaborer des méthodes de renforcement des murs en terre et pour réduire les poussées sur les murs cernant des aires de remplissage de différentes épaisseurs.
 - o Sur le suivi (monitoring) et l'évaluation il est suggéré de :
 - développer les études comparatives évaluant des interventions concernant un large éventail de sites en terre, ou de situations climatiques, de façon à mieux orienter les tendances de la recherche.
 - Il est également suggéré de mieux pointer les avantages économiques de l'entretien par rapport à des modes de traitement courants souvent suivi d'un abandon d'activité.

Principales conclusions sur la Section 4.3:

Mortiers modifiés et tendances de la recherche

Il n'y a que très peu d'analyse et d'évaluation rigoureuses du large éventail des matériaux de mortiers modifiés ayant été utilisés depuis des années pour la protection des murs en terre. L'efficacité de la chaux, du ciment, de l'asphalte, du bitume et des émulsions acryliques a été clairement établie sur le terrain. Il n'est donc pas utile de chercher davantage dans ce domaine mais plutôt de rassembler, synthétiser et divulguer les résultats. En ce qui concerne les interventions de conservation, il y a souvent un écart entre les résultats obtenus avec l'emploi de consolidants sur de nouveaux matériaux (en laboratoire) et sur les matériaux originels (*in situ*),

Les pistes de recherche suivantes sont suggérées :

La composition des sols et la minéralogie des argiles devraient être davantage pris en considération sans beaucoup d'études.

Il demeure de larges fossés entre la science des sols, la chimie et la préservation. Les professionnels de ces différents champs devraient travailler ensemble.

Différents paramètres de préparation et d'application des mortiers modifiés devraient être testés :

- *les variations d'hydratation ou extinction pour les mortiers à base de chaux vive;*
- *le temps d'humidification du matériau modifiant;*
- *la préparation et la pré humidification du substrat;*
- *les conditions de cure;*
- *les techniques d'application.*

Une distinction devrait être faite entre les mortiers modifiés utilisés en mortier de construction, en mortier de production de matériaux (briques crues p.e.), en badigeon ou enduit plus épais.

Le suivi intensif (monitoring) des micros climats sur les interventions et leurs environnements est important à considérer.

La combinaison des matériaux devraient être testée.

Davantage de considération devrait être portée sur l'entretien et le re traitement des matériaux en terre modifiés. Cette approche devrait être inclus dans la conception et l'évaluation des plans d'entretien.

Principales conclusions de la Section 5:

Interventions et entretien des surfaces décorées sur les architectures de terre

Documentation : il existe de nombreuses références, particulièrement en ce qui concerne les peintures murales. La documentation digitale prend de plus en plus de place dans les pratiques.

Caractérisation et analyse des matériaux en terre peints : On dispose de guides de laboratoire très pratiques. Les méthodes les plus courantes incluent la Diffraction aux rayons X, l'analyse des composants organiques au microscope et ont été correctement évaluées. D'autres études mériteraient d'être développées sur les méthodes d'analyse des pigments et des liants utilisés en surfaces décorées sur murs de terre.

Détérioration : beaucoup de problèmes courants de détérioration des peintures et enduits sur murs de terre, d'altération des pigments et des mesures de coloration ont été discutés dans la littérature.

Mesures préventives : Les mesures de conservation préventives, préalables à des interventions directes, telles que stabilisation de l'architecture par système de couverture, abri, consolidation des fondations, réenterrement des fouilles, sont souvent les meilleures mesures bien que périphériques au sujet. La littérature en rend largement compte ainsi que de systèmes de drainage.

Tests de traitements : cet aspect des tests de traitement, soit en laboratoire soit *in situ* est peu pris en compte dans la littérature. Des tests doivent être développées sur les mécanismes de détérioration, sur la caractérisation et la performance des matériaux originaux, sur les matériaux de traitement. La réversibilité et la compatibilité avec le matériau original devraient aussi être davantage explorées. De même il conviendrait d'étudier l'impact des fluctuations climatiques. D'autres tests devraient être développés concernant les barbotines de réattachement des peintures et enduits, le traitement des sels, le nettoyage, la consolidation de surface et la réintégration esthétique.

Réattachement des enduits sur les structures en terre : des solutions d'ancrage en pièces de métal ou en croix de plastique, en écrous de polyamide insérés dans les couches successives de chaux ou de terre et paille, sont évoquées dans la littérature. Les barbotines de réattachement ayant des propriétés adhésives sont bien documentées. On a aussi écrit sur l'usage de mortiers de chaux pour la fixation des peintures murales ou des mosaïques ainsi que sur des mélanges pouzzolaniques de cendres volantes et de chaux, ou encore de chaux hydraulique peu alcaline. De même sont assez bien documentés les procédés de rebouchage des fissures par injection de coulis de liants hydraulique alors que d'autres essais devraient être développés sur l'injection de barbotine de terre.

Détachement : la littérature est rare sur ce sujet.

Rebouchage de lacunes, et réparation des arêtes : les réparations d'enduits sont très largement discutées et intègrent la question de la préservation de l'intégrité structurale des peintures murales, ou aussi des questions d'ordre cosmétique. L'emploi de matériaux compatibles est apprécié comme nécessaire à la fois pour des raisons mécaniques et esthétiques. La tendance actuelle est de remplir les lacunes à la terre seule.

Nettoyage : le retrait des débris superficiels au moyen d'eau ou de compresses humides ou à la brosse douce est bien documenté. La littérature évoque aussi l'emploi d'un mélange d'eau et de dichlorure d'éthylène et de triétanolamine suivi d'un nettoyage complet à l'alcool de méthyle, de cellulose en solution et de glycol d'éthylène.

Traitement des sels : la littérature évoque le traitement mécanique au scalpel ou à la brosse ou à l'aide de compresses saturée à la solution de bicarbonate de soude, suivi par l'emploi de compresses humidifiées à l'eau distillées. D'autres études mentionnent l'emploi de fibres de cellulose. La mesure quantitative et qualitative des sels est aussi bien documentée dont les procédés de mesure ionique

La consolidation de surface fait l'objet d'une grande variété de traitements soit à l'aide d'adhésifs naturels, soit au moyen de résines organiques, d'esters de silicone et de silanes. Dans le choix des produits, la question de la mutation de la qualité visuelle est un facteur important à considérer ainsi que les risques de détérioration de surface ou encore les changements de perméabilité à la vapeur d'eau transmise dans le mur. Des solutions à la colle animale ou à la caséine sont aussi évoquées. D'autres études évoquent la tendance à remplacer les matériaux traditionnels par des PVAC et PVAL ou l'emploi de silicate de potassium, de silicate de lithium, d'acryloïd B-72 qui semblent donner de bons résultats. De même l'éthylsilicate a été souvent utilisé et est très documenté bien que pas assez évalué.

Réintégration esthétique et présentation : La tendance actuelle va dans le sens de l'intervention minimale avec très peu de réintégration esthétique, des retouches minimales.

Evaluation des traitements : très peu a été publié à ce sujet.

Entretien : Là aussi très peu a été publié sur ce sujet qui est pourtant très important.

Il est suggéré :

Le test et l'évaluation des matériaux utilisés pour la conservation des surfaces décorées sur l'architecture de terre sont très peu étudiés. Davantage de recherche devrait fournir d'autres connaissances.

Des tests de traitement en laboratoire et sur le terrain ont été développés mais les résultats restent trop confidentiels.

Une évaluation plus systématique des matériaux et produits qui ont été utilisés en traitement, après 5 à 10 ans, devrait être réalisée comme un suivi systématique.

Les techniques avancées de nettoyage, incluant l'emploi d'aérosols, les méthodes de nettoyage à sec, les gels solvants, les savons de résines, le nettoyage au laser ou aux enzymes, devraient faire l'objet de recherches car il n'en est fait que très peu mention dans la littérature.

Une recherche plus soutenue devrait être développée sur les mécanismes de détérioration de façon à mieux comprendre les problèmes observés.

La tendance actuelle vers une meilleure compréhension des matériaux originels et des techniques anciennes est sans aucun doute une bonne base pour choisir un traitement mieux adapté et le développement des méthodes de traitement apparaît très encourageant.

Principales conclusions de la Section 6 : Ingénierie structurale et hydrologique.

4 niveaux de considération sont pris en compte:

- 1 - Les projets de recherche sur les “bonnes pratiques”;
- 2 - Les projets de recherche appliquée à orientation très pratique;
- 3 - Les projets analytiques et les projets de tests en laboratoire;
- 4 - Les recherches sur les fondations;

1 - Les projets de recherche sur les “bonnes pratiques” devraient couvrir les aspects suivants:

- La prédiction de la performance du futur édifice;
- La conservation et le nouvel usage de façon à répondre au besoin d'utilité du bâti et à cadrer les principes de conception des projets (réhabilitation);
- Les modèles d'effondrement des murs;
- Comment apporter des solutions structurales tout en conservant
- La caractérisation structurale, la condition structurale et matérielle, la discrimination et la qualité culturelle;
- La méthodologie d'étude et d'analyse de l'histoire structurale des ouvrages.
- Les techniques de suivi structural (monitoring) et de classification des dommages.

2 - Les projets de recherche appliquée à orientation très pratique;

- Evaluer les processus et les techniques qui ont été appliqués dans des projets de conservation active;
- L'influence de la condition du matériau sur les charges et les descentes de charges;
- Les mécanismes de réintégration de la structure originelle et de réapplication des charges;
- L'Humidité Relative et les effets les effets de la rosée sur la résistance des murs;
- La gestion et le contrôle de la nappe phréatique et du drainage de surface;
- le rétablissement de la continuité structurale dans le traitement des fissures et d'autres dégâts.

3 - Les projets analytiques et les projets de tests en laboratoire:

- La mécanique de fracture des murs en terre rapportée aux sollicitations de compression et traction;
- L'analyse rétroactive des connexions structurales entre la terre et la terre et la terre et d'autres matériaux;
- La transmission des forces vives (séismes, vent, pluie, neige, personnes) et les effets sur les matériaux;.
- L'impact structural sur la performance du matériau: fissures, déformation plastique, densification de terres;
- L'efficacité des peaux structurales sur la dégradation, le matériau et le mur;
- La compatibilité des systèmes de clés ou de chaînages intégrés dans de nouveaux éléments de support structural, avec le matériau terre;
- Le développement d'un modèle de performance comparative généralisé avec les structures en briques et en pierres.
- L'évaluation des effets de la conservation sur l'évolution de la performance structurale;
- Les changements à long terme de la performance du matériau en tenant compte d'une “capacité de réserve”.

4 – Les recherches sur les fondations

- La conception et la performance des fondations;
- La protection contre les changements à long terme au niveau des fondations;
- Le degré d'acceptabilité des variations de la nappe phréatique et des reprises en sous oeuvre pour la préservation des vestiges archéologiques *in situ*.

Principales conclusions de la Section 7 :

Détérioration sismique / pathologie de l'architecture de terre et interventions sismiques sur l'architecture de terre.

La revue de littérature scientifique de cette section a couvert les trois domaines et chapitres suivants :

1 - Les observations de terrain, avec :

- Dégâts typiques des maçonneries non renforcées
- Performance des maçonneries renforcées
- Performances basées sur la "culture sismique".

2 - Les tests, avec :

- L'étude des paramètres de construction et leur mise en relation avec la performance
- Le développement d'interventions sismiques spécifiques

3 - L'analyse, avec :

- Les types de dégâts/ effondrement des maçonneries non renforcées
- Le développement d'interventions sismiques spécifiques
- La performance prévisible

Deux principales directions de recherche développées depuis 20 ans sont relevées

1 - La détérioration sismique et les pathologies de l'architecture de terre, avec :

- Des recherches ont étudié les types de dégâts sismiques et les ont rapportés aux causes et à l'intensité des mouvements du sol (analyse de vulnérabilité); ces recherches sont utiles pour prévenir les types de dégâts courants dans de futurs événements sismiques.
- Bien que les matériaux qui sont discutés par la littérature sont autres que des matériaux en terre (pierre, brique cuite), la performance sismique est souvent presque identique et apporte à une meilleure connaissance de la détérioration sismique et des pathologies sismiques de l'architecture de terre.

2 - Le développement, la réalisation et l'évaluation des expérimentations parasismiques et des interventions post-séismes dans le domaine de l'architecture de terre, avec :

- Des recherches ont été développées sur des interventions exploitant le principe de stabilité simple des structures, comme les murs à noyau stable les toitures en semi diaphragmes, le renforcement par ligature des murs (extérieure et intérieure) et les renforts verticaux et/ou horizontaux dans l'épaisseur des murs.
- D'autres recherches ont porté sur la réutilisation ou l'actualisation des méthodes de construction traditionnelles dans des contextes de cultures sismiques, visant à réduire la vulnérabilité des bâtiments (prévention).
- Il y a aussi des recherches sur l'isolement du socle des fondations et sur les dispositifs en alliage à mémoire de forme (de *Shape Memory Alloy Devices*).

En suggestion générale:

- *Les efforts de recherche sur l'architecture de terre et le risque sismique ont été assez nombreux mais ils devraient beaucoup plus prendre en compte les recherches nombreuses et variées, ainsi que les tests et les interventions qui ont portés sur les maçonneries de pierre et de brique, dont la plupart sont sans doute applicables à l'architecture de terre*

Principales conclusions de la Section 8 :

Suivi des problèmes d'humidité et contrôle biologique dans les murs des ouvrages en terre.

Sur le suivi des problèmes d'humidité:

- Les méthodes non destructives sont plutôt coûteuses;
- Le radar à impulsion ou la thermographie à infrarouge exigent une expérience considérable pour une bonne interprétation des résultats;

- Les rayons Gamma, la dispersion neutronique, l'humidification nucléaire, la radiographie neutronique, la résonance nucléaire, la spectroscopie, ont des effets limités sur l'application de terrain;
- Les mesures d'humidité ne donnent des résultats que pour les couches de surface;
- La mesure de capacitance, l'absorption infrarouge et l'absorption micro-ondes exigent un calibrage.
- La condensation, les sels et les conducteurs indirects peuvent fausser les résultats de mesures de résistance manuelles;
- L'emploi de témoins de mesure en résistance électrique de l'humidité de la terre en fibre de verre est parfois mieux indiqué que la méthode d'échantillonnage gravimétrique en certaines situations;
- La contamination saline à partir de l'eau souterraine constitue un problème permanent pour le développement de nombreux modes de mesures de l'humidité.

Sur les organismes logeant dans les murs et leur contrôle:

Arbres et racines des broussailles:

- Le nettoyage de la végétation peut être à l'origine de dégâts causés aux bâtiments. Il contribue néanmoins à un niveau d'hydratation des sols;
- Le contrôle de la croissance arbustive par l'emploi de sacs en géotextiles ou l'utilisation de barrières minérale et/ou synthétiques donne des résultats très variables.
- Le contrôle avec des herbicides peut donner de bons résultats selon les produits, les espèces végétales et les situations. L'hexazinone et le glyphosate se sont montrés relativement efficaces pour un large éventail de situations et d'espèces.

Traitements des termites:

- Un large registre de termiticides a été testé. Les composants à base de Boron sont considérés comme efficaces. Une nouvelle classe de biocides a récemment été développée, commercialisés sous l'appellation de termiticides non repoussant. Davantage d'évaluation de leur efficacité est nécessaire;
- Les traitements irriguant par injection de termiticides dans des trous forés n'est pas conseillé: risque de déstabilisation structurale;
- Les fumigations n'ont pas démontré leur réelle efficacité;
- Les appâts prennent du temps pour être efficaces;
- Le contrôle au moyen de champignons pathogènes a donné des résultats variables.

Sur la détection des termites:

- L'imagerie thermique peut être utile pour détecter la présence de colonies;
- De nouvelles méthodes de détection sont en cours de développement comme l'emploi de micro ondes, du laser et de la technologie infrarouge.

Prevention de l'infection:

- Les barrières physiques en matériaux granulaires ont montré leur efficacité mais doivent faire l'objet d'un suivi régulier.

Guêpes maçonnnes:

- Une injection ou une vaporisation d'insecticides, à temps et relativement tôt, est recommandée.

Rongeurs et animaux nidifiants:

- Les traitements chimiques mortels (poisons) jouent encore un rôle majeur pour le contrôle des rongeurs;
- Les pièges pour les rongeurs ne sont efficaces que si ils sont utilisés en nombre suffisant.

Conclusion

Les insuffisances de l'évaluation

L'évaluation des interventions de conservation des architectures de terre est bien évidemment essentielle pour faire avancer les connaissances théoriques, les approches méthodologiques et les pratiques conservatoires, et pour faciliter l'ouverture de nouvelles voies de recherche scientifique. Dans cette révision de la littérature, on aura couvert quinze années de production scientifique ou littéraire. Cela représente un fonds documentaire très important car ce sont

effectivement ces quinze dernières années qui ont produit le plus de littérature sur le sujet révisé. Dans cette production, les grandes conférences internationales sur la préservation des architectures de terre qui ont eu lieu sur la période, auront certainement apporté des éléments de connaissance nouveaux et fondamentaux pour faire avancer et mieux structurer une science naissante de la conservation des architectures de terre. Simultanément, au-delà des pratiques de terrain, encore récemment empiriques et expérimentales, se développait une véritable recherche scientifique fondamentale et appliquée. Mais, le plus souvent, la production littéraire restitue ensemble d'études de cas qui rendent compte de l'évolution des expériences, dans une communauté d'opérateurs souvent isolés et que seuls des événements comme des séminaires, colloques et conférences internationaux peuvent réunir pour échanger, partager leurs expériences, leurs savoirs en acquisition, en évolution. Faire un compte-rendu de ses expériences n'est pas pour autant faire une évaluation des interventions, même si c'est une façon de mettre le pied à l'étrier pour aller dans ce sens. Ainsi, la littérature fait peu cas de véritables évaluations. Ce sont souvent des expressions de campagnes de « *monitoring* » qui donnent lieu à des constats, à l'expression d'observations macro visuelles. Les analyses, les synthèses sont rares. Par ailleurs, ce ne sont pas le plus souvent les interventions qui sont évaluées mais davantage les recherches à caractère exploratoire. Nous avons donc, au fil de ces 15 ans passés la possibilité de restituer une vision de l'évolution des savoirs et des pratiques qui est considérablement limitée par ce que l'on dénomme ici les insuffisances de l'évaluation. Notre souci a principalement été de restituer les propos de chercheurs ou de praticiens qui, à notre sens, auront plus particulièrement contribué à faire avancer le savoir en offrant une réflexion qui prend suffisamment de recul ou d'altitude, en forme de bilans ou de synthèses qui établissent des paliers de l'état des connaissances, lesquels sont fondamentaux pour ouvrir sur un progrès de la science dans le domaine couvert. Parmi les contributions qui ont particulièrement retenu notre attention, se trouvent celles qui dressent une évaluation comparée de divers traitements de conservation.

Notre révision de la littérature a aussi rendu compte de discussions de programmes de recherche scientifique, ou de recherche-action, comme de projets réalisés ou en cours de développement sur lesquels un regard d'analyse scientifique, ayant valeur d'évaluation, aura été porté. Les propos restitués sont loin de couvrir la question de l'évaluation des interventions de façon exhaustive. Beaucoup de procédés et de formes d'intervention ne sont finalement pas évalués, ou très sommairement. On ne peut que le regretter. On aura principalement pu couvrir les procédés de *backfilling* (ré enterrement de fouilles), de protection de surface par enduits, badigeons, peintures, les imprégnations chimiques, les systèmes de protection par géotextiles et enfin, quelques considérations sur l'évaluation des techniques de réhabilitation sismique.

Une question s'impose : les évaluations dont on a rendu compte permettent-elles de tirer des enseignements largement applicables ? Une fois encore, tout est affaire de cas unique quant à l'efficacité des traitements qui sont directement tributaires du type de matériau traité, de sa texture, de sa minéralogie, mais plus encore du degré d'intégrité constructive et architecturale, dans un contexte et un environnement donnés.

Ce que l'on doit retenir nous semble davantage devoir être rapportable au domaine des méthodes et des procédures, des modes de traitement, plus qu'à celui des produits ou malheureusement encore souvent, au domaine des recettes auxquelles beaucoup d'opérateurs de terrain font appel. Mais il n'y a en effet pas de produit « miracle » ; il n'y a pas de « recette ». Il n'y a que des caractéristiques, des propriétés, des interrelations aux environnements distincts et des façons de bien comprendre les problèmes pour tenter de bien les résoudre. Certes, certains traitements donnent de meilleurs résultats et ils peuvent être de nature physique comme de nature chimique ou, à l'interface, physico-chimique. Les recherches et les expérimentations qui ont pu être évaluées donnent des résultats assez variés et tendent à montrer que l'architecture de terre vit, réagit avec son environnement et que l'on ne peut espérer que ralentir les effets de ces facteurs environnementaux, avec plus ou moins de succès.

On aura noté que le procédé de *backfilling* est reconnu comme un mode très efficace de protection et de préservation des vestiges archéologiques. Au cours des dernières années, ce procédé a été nettement amélioré par l'optimisation des drainages et par un meilleur contrôle de la percolation de l'eau de surface (utilisation de géotextiles, réalisation de couches de sédiments argileux saturants, ou systèmes améliorant l'évaporation de l'humidité). L'évaluation du procédé utilisé au début du siècle sur le Pueblo Bonito de Chaco Canyon. (Dowdy et Taylor 1990), est riche d'enseignements en restituant des données issues d'une campagne de *monitoring* effectuée après 70 années. On peut ainsi confirmer la bonne qualité de protection des traits architecturaux essentiels, mais aussi toutes les précautions qu'il convient de prendre lorsque l'on souhaite remettre au jour des vestiges pour documenter à nouveau leur état. Précautions à prendre pour l'enlèvement du matériau de comblement ; précautions à prendre pour contrôler la vitesse de séchage des sédiments (soleil, vent) qui retiennent de l'humidité dans les couches de surface. Les tests montrent aussi que la croissance de la végétation peut avoir des effets néfastes sur la conservation des enduits originaux et peuvent ainsi

valider l'utilisation régulière de produits herbicides. L'utilisation de sédiments sableux donne d'excellents résultats du fait d'une bonne propriété de percolation et filtration de l'eau autant que d'évaporation de l'humidité. Un souci demeure : mieux garantir la qualité de la protection pour les couches supérieures, jusqu'à au moins 30 cm d'épaisseur.

Pour ce qui est des solutions de protection de surface, ce sont sans doute les évaluations comparées qui fournissent le plus d'enseignements. Les enduits traditionnels à base de terre, de terre amendée de paille, de terre stabilisée à la chaux, ou de chaux naturelle hydratée, l'utilisation de stabilisants naturels, sont réhabilités avec un intérêt divers des opérateurs, selon que l'on doit préserver des ressources de nature archéologique ou des édifices historiques. Pourtant, les expériences réalisées en conservation des sites archéologiques sont le plus souvent très concluantes, positives. Mais, la question de l'entretien périodique (pour les enduits en terre seule ou en terre amendée en paille, notamment), semble demeurer un frein pour une plus large réhabilitation de ces pratiques d'enduits traditionnels. C'est moins le cas pour la conservation des édifices historiques où la réhabilitation des enduits à base de chaux est largement acceptée. D'autres programmes de recherche sur murets-tests ont montré que les mortiers bâtards (sable-chaux, sable-chaux-ciment), présentent de très bonnes potentialités alors que les solutions de badigeons à la chaux exigent un entretien fréquent. L'utilisation des peintures ne donne pas, dans l'ensemble, de bons résultats.

Pour ce qui est des consolidants chimiques, ce sont surtout des programmes de recherche expérimentale qui nous offrent des résultats discutables, parfois dignes d'intérêt. Mais dans l'ensemble, ces résultats sont très inégaux et l'on en reste encore, assez globalement, à l'expérimentation, sans application trop large, car de nombreux problèmes demeurent. Il est en tout cas assez clair que la minéralogie et la texture des matériaux de terre traités aux consolidants chimiques, jouent un rôle décisif dans l'efficacité de ces traitements. De même, une trop grande quantité d'argile par rapport aux composants sableux, réduit notablement l'efficacité des traitements de consolidation chimique. L'état des conditions physiques du matériau, et particulièrement son degré de cohésion, sont aussi un facteur décisif. D'autres recherches semblent aussi montrer que l'amendement en consolidant chimique dans la masse, lors de la préparation des mortiers de protection (gâchage), est plus efficace que le traitement postérieur par aspersion ou par imprégnation à la brosse ou au rouleau à peinture. A choisir entre les procédés de traitement par pénétration forcée, par aspersion ou par imprégnation à la brosse ou au rouleau, c'est l'aspersion qui semble donner les meilleurs résultats, dans la mesure où l'évaporation du solvant volatil est retardée et dans la mesure où la viscosité du produit est adaptée pour garantir une bonne pénétration. Beaucoup de chercheurs et d'opérateurs restent encore sceptiques sur la pertinence de ces traitements chimiques du matériau terre et les mettent volontiers en balance avec d'autres procédés de conservation plus traditionnels, dont le principe de réalisation d'enduits sacrificiels qui devront être entretenus et périodiquement restaurés. Les expériences plus spécifiques faites avec les éthylo-silicates, au cours de ces presque 30 dernières années, montrent que ces produits offrent des propriétés intéressantes mais donnent des résultats très variés qui sont difficiles à évaluer. Une étude plus poussée des facteurs pouvant affecter l'efficacité de ce type de traitement nous semble toujours indispensable. Il semble que le procédé agisse de manière très lente, que son effet s'affaiblisse dans le temps et que le traitement doive donc être répété. Quelles sont alors les limites de performance économique du procédé vis à vis de solutions plus classiques qui nécessitent, elles aussi, un entretien (pour les sommets et les bases des murs en terre, moins que pour leurs parois courantes), des réfections périodiques, qui sont à l'évidence moins onéreuses et qui valorisent les cultures locales comme les emplois locaux ? Car le coût des consolidants chimiques reste un argument défavorable.

Le procédé de protection des sommets de murs en terre par *capping* (chapeaux) reste sans aucun doute l'un des plus efficaces mais doit, autant que possible, privilégier l'emploi de matériaux compatibles afin de contrôler le risque d'érosion différentielle entre le sommet et la paroi. Le traitement de la base des murs (plateforme d'évacuation du ruissellement, drainage), reste indispensable. L'entretien des *cappings* est également une activité incontournable. Le principe des *cappings* évaporant plutôt que ruisselants semble doté de potentialités intéressantes qui mériteraient d'être davantage explorées par la recherche expérimentale.

Il y a aussi des limites à poser pour ce qui est de l'amélioration des solutions traditionnelles par ajouts de stabilisants ou de consolidants. Les pratiques ne peuvent en tout cas être des expérimentations trop empiriques et mériteraient un suivi scientifique plus soutenu par des campagnes de *monitoring* suivies d'évaluations. Par ailleurs, dans cette démarche, trop de fantaisie pourrait nuire à une recherche raisonnée des potentialités offertes par cette voie.

La protection aérienne par géotextiles présente des intérêts pour une conservation préventive temporaire et totalement réversible, en attente d'interventions plus durables. Mais il y a une incompatibilité évidente avec la mise en valeur esthétique des ressources architecturales traitées ainsi que sur l'impact visuel dans le paysage.

Les recherches sur les techniques de conservation des édifices affectés par le risque sismique ont été nettement garantes de résultats directement utiles pour une conservation préventive, comme pour des interventions rétroactives. La

réintégration de la stabilité des structures et de la liaison mécanique des systèmes construits, est une voie qui s'affirme comme les plus dignes d'intérêt et que l'on peut opposer au renforcement. Mais il y a toujours une querelle d'école pour ce qui est du champ spécifique des architectures de terre dans la mesure où les intervenants sont davantage liés au domaine de l'ingénierie sismique appliquée aux techniques de construction contemporaines (béton armé, acier, etc.). Par ailleurs, une nouvelle voie de recherche émerge et retient davantage d'intérêt, qui porte son attention sur les cultures constructives locales du risque (mémoire culturelle des événements sismiques) et les réponses apportées par l'intelligence constructive des bâtisseurs. Les solutions constructives traditionnelles apportent des réponses que la technologie actuelle pourrait être en mesure de revaloriser en améliorant leur efficacité.

Il nous faut aussi relever, qu'il n'est pas finalement aussi simple ou si sûr d'affirmer que le matériau terre et les structures bâties avec ce matériau, doivent être totalement protégées de l'eau, c'est à dire hydrofugées ou imperméabilisées. Cela malgré les tendances de la recherche et de l'expérimentation qui ont été portées par cette approche, notamment avec la consolidation chimique. Nous avons perçu, dans l'ensemble de la littérature, quelles que soient les problématiques de recherche, une conception largement admise par la communauté des chercheurs et des opérateurs. L'architecture de terre, qu'elle soit vestige archéologique ou édifice historique à conserver, doit respirer, doit faire alliance avec l'environnement. De ce fait, l'architecture de terre doit fondamentalement être entretenue et si possible vécue, être utilisée pour garantir sa survie, sa pérennité. L'efficacité de la réhabilitation des formes de protection et d'entretien traditionnels (techniques de protection de surface, notamment), que l'on opposera pas à celle des traitements pétrifiants qui peuvent aussi donner des résultats dignes d'intérêt, est souvent relevée mais, une fois encore, exige un investissement d'entretien.

La conservation du patrimoine architectural en terre, comme sa mise en valeur, exigent une mise en situation physique, climatique, économique et socioculturelle. Elles exigent une problématisation plus réaliste, c'est à dire incarnée dans les faits de société, dans la perspective d'un développement durable, bénéficiaire aux sociétés qui les assurent, c'est à dire créatif de richesses, d'une plus-value sociale et économique fondées sur une large reconnaissance de l'histoire, des cultures, des différences. On se doit de dire qu'il est encore nécessaire d'apprendre car la science de la conservation des architectures de terre est à peine naissante, même si elle restitue l'évidence de belles promesses d'accomplissement pour l'avenir.

Devant la force et la beauté de cet héritage des architectures de terre que nous voulons conserver, il nous faut encore rester modestes, écoutant et observant, mais aussi continuer à chercher, à expérimenter. Il nous faut surtout davantage évaluer et partager les expériences, les résultats. Nous avons aussi, sûrement, encore beaucoup à apprendre de ceux qui les ont érigées en intelligence constructive, en maîtrise architecturale, pour que ces architectures de terre aient daignées parvenir jusqu'à nous, au delà des millénaires.

Bibliographie

- Abraham et al 1993** : ABRAHAM, B., BRINDEL-BETH, S., FLORENTIN, G.H., DE MAISONNEUVE, P. - *Le bâti pan de bois*, éditions de l'EDF. Paris. France, 1993.
- Agnew 1990** : AGNEW, Neville - *The Getty adobe research project at Fort Selden. I. Experimental design for a test wall project*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 243-249. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Mazar 1999**: MAZAR, Amihai - *The conservation and management of mudbrick buildings at Tell Qasile, Israel*. In: *Conservation and management of archaeological sites*, p. 103-108. James and James. London. U.K.
- Andrews 1990**: ANDREWS, R. - *The manufacture and use of adobe bricks in buildings*. In: *Technical papers volume for the national seminar on mud in habitat. 7th & 8th december 1990 Manipal*. HUDCO. New Delhi. India.
- Australia/ICOMOS 1996**: *The Australia ICOMOS charter for the conservation of places of cultural significance (the Burra charter)*. Australia/ICOMOS. Sydney. Australia, 1996.
- Baldussi 1994** : BALDUSSI, Alessandro - *Etude pour une réhabilitation des architectures de terre en Sardaigne*. EAG. Grenoble. France, 1994.
- Baradan 1990**: BARRADAN, B. - *A new restoration for adobe structures*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 149-152. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Barker 1996**: BARKER, P. - *Temporary shelter and site protection*. In: *Preventive measures during excavation and site protection. Conference. Mesures préventives en cours de fouilles et protection du site. Ghent, 6-8 novembre 1985*. p. 45-49. ICCROM. Rome. Italia, 1996.

- Bedford 1994:** BEDFORD, P. - *The conservation of town farmhouse, Gittisham, Devon*. In: *Out of Earth, Dartington, 4-6 May 1994*. p. 42-45. School of Architecture, Centre for Earthen Architecture. Plymouth. U.K., 1994.
- Bendakir 1993 :** BENDAKIR, Mahmoud - *Recherche pour la préservation des architectures de terre. Le site archéologique de Mari (Syrie)*. EAG. Grenoble. France, 1993.
- Cancino 2003:** CANCINO, Claudia - *Recording, condition survey and evaluation*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 20 p., 2003.
- Caperton 1990 :** CAPERTON, T.J. - *Fort Selden ruins conservation*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 209-211. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Caperton 1994:** CAPERTON, T.J. - *An evaluation of geotextile shelters : Fort Selden, New Mexico*. In: *US/ICOMOS. Committee on earthen architecture. n° 10*. p. 5-7. US/ICOMOS. Washington. U.S.A., 1994.
- Chiari 1990:** CHIARI, Giacomo - *Chemical surface treatments and capping techniques of earthen structures: a long-term evaluation*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 267-273. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A.
- Coffman et al. 1990:** COFFMAN, R., AGNEW, Neville, SOEHNE, E. - *Adobe mineralogy: Characterisation of adobes from around the world*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 424-429. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Coffman et al 1990:** COFFMAN, R., SELWITZ, C., AGNEW, Neville - *The Getty adobe research project at Fort Selden. II. A study of the interaction of chemical consolidants with adobe and adobe constituents*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 250-254. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Collombet 1989 :** COLLOMBET, R. - *L'humidité des bâtiments anciens. Causes et effets. Diagnostics et remèdes*. In: *ANAH.. Editions du Moniteur. Paris. France, 1989*.
- Crocker 1993:** CROCKER, Edward - *The purpose and mechanics of lime renders*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 433-438. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Crocker 1992:** CROCKER, Edward - *The New Mexico Community Foundation : selections in earthen technology. No. 2 straw daubs : how fiber cuts erosion*. In: *US/ICOMOS Newsletter. n° 7*. p. 11-12. US/ICOMOS. Washington. U.S.A., 1992.
- Crocker et al. 1996:** CROCKER, Edward, ROMANCITO, A.E., UVINA, F.C., WAIKANIWA, R. - *Condition report. San Estevan del Rey church, Acoma, New Mexico*. Cornerstones Community Partnerships. Santa Fe. U.S.A., 1996.
- Crocker 1996:** CROCKER, Edward - *Cornerstones community partnership. Selections in earthen technology. N° 1. Dust to dust : the utilization of bones in adobe repair*. Cornerstones. Santa Fe. U.S.A., 1996.
- Crocker et Uviña 1996 :** CROCKER, Edward, UVINA, F.C. - *Condition report. Santa Ana church. Santa Ana de Tamayá pueblo, New Mexico*. Cornerstones Community Partnerships. Santa Fe. U.S.A., 1996.
- Crosby 1996:** CROSBY, Anthony - *Patología humeda y deterioro. Patología estructural y deterioro*. In: *Curso Panamericano sobre la conservación y el manejo del patrimonio arquitectónico histórico-arqueológico de tierra, 10 de noviembre al 14 de diciembre de 1996. Chan Chan Perú, PAT 96. INC-Perú ; CRATerre-EAG ; ICCROM ; The Getty Conservation Institute. Lima / Grenoble / Rome / Los Angeles. U.S.A., 1996*.
- Dassler 1990:** DASSLER, Lee - *Nineteenth Century New York State earthen homes: an investigation of their material composition*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 430-437. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A. 1990.
- Dayre et Kenmogne 1993 :** DAYRE, Michel et KENMOGNE, Emmanuel - *Etude des transferts d'humidité dans les blocs de terre crue compactée : influence de la structure des terres*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 348 - 352. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- De Chazelles et Poupet 1989 :** DE CHAZELLES, Claire-Anne, POUPET, Pierre - *Analyses archéologiques et sédimentologiques des matériaux de terre crue de l'architecture protohistorique à Lattes*. Provenance et technologie. In: *Lattara 2*. p. 11-32. Lattara. Lattara. France, 1989.
- De Olarte et Guzman 1993:** DE OLARTE, Tristan J.L., GUZMAN, E. - *The challenge of the systematic building with soil*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 515-520. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Delcambre 1987 :** DELCAMBRE, P. - *Démarche pour un diagnostic de l'environnement en préalable au diagnostic à effectuer pour la réhabilitation d'un immeuble ancien*. In: *Le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation. Colloque international 18-19-20 mars 87 à l'ENTPE*. p. 519-528. Formequip. Lyon. France, 1987.
- Demehati 1990 :** DEMAHATI, A. - *Contribution à l'étude de correlations et de l'utilité de paramètres de l'identification des sols*. In: *Ier séminaire international sur l'Ingénierie des constructions en terre, 30-31 Mai, 1er Juin 1990, Marrakech*. LPEE. Casablanca, Maroc, 1990.

- Dix 1997** : DIX, L.A. - Materials in the laboratory. Earthen plasters, mortars, and paints from mug house. In: *CRM. vol. 20. n° 10. p. 43-45.* US Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources. Washington. U.S.A., 1997.
- Doat et al. 1983** : DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, LARAKI, Malak, KERGREIS, Michel, HMAMI, Jamal, BOULALI, M., KABBAJ, Amine, LATIFI, Abdelmalek - *Marrakech 83. Habitat en terre. Aide à la conception architecturale.* Rexcoop, Erac-Tensift. Paris. France.
- Dowdy et Taylor 1993** : DOWDY, Kathleen, TAYLOR, Michaël Romero - *Investigations into the benefits of site burial in the preservation of prehistoric plasters in archaeological ruins.* In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal, p. 480-487.* Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Dubus 1990** : DUBUS, M. - *Les points sur les possibilités de l'électro-osmose pour la conservation de l'architecture de terre.* In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints. p. 401-413.* The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A.
- Feilden et Jokilehto 1993** : FEILDEN, Bernard et JOKILETHO, J. - *Management guidelines for world cultural heritage.* ICCROM ; UNESCO ; ICOMOS. Rome / Paris. France, 1993.
- Garralón Jorba 1991** : GARRALON JORBA, J. - *Eflorescencias.* In: *Jornadas sobre restauracion y conversación de monumentos. Madrid, 24 y 25 de abril de 1989. p. 185-190.* Instituto de conservación y restauración de bienes culturales. Madrid, Espagne, 1991.
- Gbenou 1994** : GNEBOU, J. - *Le patrimoine architectural traditionnel en République Populaire du Bénin. Nature - Politique de conservation - perspectives d'avenir.* In: *Séminaire national. Réflexion sur la situation des musées en République Populaire du Bénin. Infosec - Cotonou : du 23 au 27 juillet 1984. p. 91-109.* Infosec. Cotonou. Bénin, 1994.
- Green 1995**: GREEN, Melville - *San Gabriel Mission Museum : seismic damage repair and mitigation project.* In: *Workshop on the seismic retrofit of historic adobe buildings. March 10, 1995 at the J. Paul Getty Museum. p. 31-33.* Earthen Building Technologies. Pasadena. U.S.A., 1995.
- Guarner González 1991**: GUARNER GONZALES, I. - *Muralla de Niebla, Huelva.* In: *Jornadas sobre restauracion y conversación de monumentos. Madrid, 24 y 25 de abril de 1989. p. 143-148.* Instituto de conservación y restauración de bienes culturales. Madrid, Espagne, 1991.
- Guillaud 1986** : GUILLAUD, Hubert - *Projets de construction en terre ou de réhabilitation réalisés en France. Synthèse.* In: *Actes de colloques sur la "Modernité de la construction en terre-1984". Vaulx-en-Velin, 10-11-12 octobre 1984. p. 225-237.* Plan Construction, ENTPE, EPIDA. Paris. France, 1986.
- Guillaud 2001** : GUILLAUD, Hubert - *Recherche en Conservation. Conservation des architectures de terre. Revue de la littérature scientifique des 15 dernières années.* Rapport provisoire. Ed. Projet TERRA (CRATERRE-EAG/ICCROM/GCI), Villefontaine, France, 2001, 234 p.
- Guinea 1991** : GUINEA, M.J. - *Consolidación, mejora y nuevas técnicas de construcción con tierra.* In: *Jornadas sobre restauracion y conversación de monumentos. Madrid, 24 y 25 de abril de 1989. p. 135-141.* Instituto de conservación y restauración de bienes culturales. Madrid, Espagne, 1991.
- Hakimi et Acharhabi 1987** : HAKIMI, A., ACHARHABI, A. - *Humidité dans les constructions et principaux problèmes pathologiques de la médina de Fes.* In: *Le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation. Colloque international 18-19-20 mars 87 à l'ENTPE. p. 271-306.* Formequip. Lyon. France, 1987.
- Hartzler 1996** : HARTZEL, Robert - *Acrylic-modified earthen mortar.* Professional paper n° 61. Intermountain Cultural Resource Center. Santa Fe. U.S.A., 1996.
- Hartzler 1997**: HARTZEL, Robert - *Acrylic-modified earthen mortar.* In: *CRM. vol. 20. n° 10. p. 50-52.* US Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources. Washington. U.S.A., 1997.
- Helmi 1990**: HELMI, F.M. - *Deterioration and conservation of some mud brick in Egypt.* In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints, p. 277-282.* The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Hereida et al. 1995** : HEREIDA, E., VARGAS, N., BARIOLA, B. - *Impermeabilización de construcciones con tierra.* In: *Habiterra. Exposición iberoamericana de construcciones de tierra, p. 226-227.* ESCALA. Santafé de Bogotá. Colombia, 1995.
- Honeysett 1995**: HONEYSETT, Barry - *Common structural defects and failures in cob buildings and their diagnosis and repair.* In: *Out of earth II. National conference on earth buildings. p. 165-177.* Plymouth School of Architecture, Centre for Earthen Architecture. Plymouth, Royaume-Uni, 1995.
- Houben 1997**: HOUBEN, Hugo - *Desert Development Center of the American University in Cairo. Mission in Egypt from 22.02.97 to 01.03.97.* Report on the partial collapse of the DDC building Sadat-City. American University, Facilities Department. Cairo. Villefontaine. France, 1997.
- Houben et Guillaud 1994** : HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert - *Earth construction. A comprehensive guide.* IT Publications. Londres, Royaume-Uni, 1994.

- Hoyle 1990** : HOYLE, Ana Maria - *Chan Chan : aportes para la conservación de la arquitectura de tierra*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture*. Adobe 90 preprints. p. 225-229. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A.
- Hoyle et al. 1993** : HOYLE, Ana Maria, CARCELEN, S., SAAVEDRA, F. - *Conservacion del castillo Tomaval*, In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 480-487. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal.
- Hoyle 1998**: HOYLE, Ana Maria - *Chan Chan patrimonio mundial. Memoria estado de la gestión, plan de manejo*. Instituto Nacional de Cultura La Libertad, Curso Panamericano de conservación PAT 96. Trujillo. Peru, 1998.
- Hughes 1983**: HUGHES, Richard - *Material and structural behaviour of soil constructed walls*. In: *Monumentum N° 3*. Techniques and materials. Londres, Royaume-Uni, 1983.
- Hughes 1985** : HUGHES, Richard - *The repair and maintenance of soil construction buildings*. PGC-HS/KU Leuven, CRA/UCL. Leuven. Belgique, 1985.
- Hughes 1986** : HUGHES, Richard - *Saving soil structures. Conservation techniques for historic buildings constructed in soil*. In: *2ièmes rencontres internationales pour la protection du patrimoine culturel*. Avignon, 5, 6 et 7 novembre 1986. Centre de Congrès du Palais des Papes. Avignon. France, 1986.
- Hughes 1986** : HUGHES, Richard - *Le patrimoine culturel et les "risques naturels"*. In: *Rencontres internationales pour la protection du patrimoine culturel. 2eme colloque*. Congrès du Palais des Papes. Avignon. France, 1986.
- Hughes 1986**: HUGHES, Ph. - *The need for old building to "breathe"*. Society for the Protection of Ancient Buildings. Londres, Royaume-Uni, 1986.
- Hughes 1988**: HUGHES, Richard - *The geotechnical study of soils used as structural materials in historic monuments*. In: *Engineering geology of ancient works, monuments and historical, sites*. p. 1041- 1048. Balkema. Rotterdam, Pays-Bas, 1988.
- Hughes (Ove Arup & Partners) 2000**: HUGHES, Richard - *British Land Pic. Plantation Place*. Method Statement for Archaeologically Excavating Documenting and Analysing Buried Soil Walls. Londres, Royaume-Uni, 2000.
- Hughes 2001**: HUGHES, Richard - *Structural and hydrological engineering*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 21 p., 2001.
- Jeannet et al. 1986** : JEANNET, Jacky, POLLET, Gérard, SCARATO, Pascal - *Le pisé. Patrimoine, restauration, technique d'avenir*. Editions CREER. Nonette. France, 1986.
- Jerome 1991** : JEROME, Pamela, S. - *Analysis and conservation of mudbrick construction in Bronze Age Crete*. Graduate School of Architecture, Planning and Preservation. Bogota. Colombie, 1991.
- Joffroy 1992** : JOFFROY, Thierry - *Expertise technique et financière du mur d'enceinte de la résidence consulaire de Marrakech. Rapport de mission à Marrakech, Maroc. 21/04/92 - 27/04/92*. MAE (Ministère des Affaires Etrangères), Direction du personnel et de l'administration générale, Service des immeubles et des affaires générales. Paris. France, 1992.
- Joffroy 1996** : JOFFROY, Thierry - *Mission to the Gambia, 6-16 may 1996*. UNESCO, World Heritage Centre. Paris. France, 1996.
- Joffroy 1997** : JOFFROY, Thierry - *In situ training programme Ashanti traditional buildings, Ghana. Report of mission, June 1997*. UNESCO, World Heritage Centre. Paris. France, 1997.
- Joffroy et Moriset 1996** : JOFFROY, Thierry, MORISET, Sébastien - *Guide d'entretien du musée d'Abomey (palais de Ghézo et de Glélé)*. PREMA - BENIN - II. CRATerre-EAG ; ICCROM. Grenoble / Rome. Italie, 1996.
- Joffroy et Moriset 1996** : JOFFROY, Thierry, MORISET, Sébastien - *Palais royaux d'Abomey. 1. Circonstances et processus de dégradation*. (PREMA - BENIN - II). CRATerre-EAG ; UNESCO, Centre du Patrimoine Mondial ; ICCROM. Grenoble / Paris / Rome. Italia.
- Joffroy et Moriset 1996** : JOFFROY, Thierry, MORISET, Sébastien - *Chantiers pilotes de formation à la conservation des mosquées de Tombouctou. Rapport de mission réalisée à Tombouctou, Mali du 22 novembre au 20 décembre 1996*. UNESCO, Centre du Patrimoine Mondial ; CRATerre-EAG ; ICCROM. Paris / Grenoble / Rome. Italia.
- Joffroy et Odul 1989** : JOFFROY, Thierry, ODUL, Pascal - *Expertise de la maison en pisé de Mme Rajon à Coublevie*. In: *Rapport expertise*. CRATerre-EAG. Grenoble. France.
- Joffroy et al. 1997**: JOFFROY, Thierry, SAVAGE, D., KWAMI, M., MORISET, Sébastien - *Conservation of the "Our Lady of Seven Sorrows cathedral", Navrongo, Ghana*. The Getty Grant Project ; GAIA Project ; Ghana Museums and Monuments Board. Los Angeles / Grenoble / Accra. U.S.A. & France, 1997.
- Keefe 1993** : KEEFE, L. - *The cob building of Devon 2. Repair and maintenance*. Devon Historic Buildings trust. Devon. Royaume-Uni, 1993.
- Koob et al. 1990**: KOOBE, S.P., ROGERS, M.H., SAMS, G.K. - *Preserving the eighth Century B.C. mud brick architecture at Gordion, Turkey: approaches to conservation*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture*. Adobe 90 preprints. p. 289-294. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A, 1990.
- Leroy Tolles et al. 1996**: LEROY TOLLES, E., WEBSTER, Fred, A., CROSBY, Anthony, KIMBRO, Edna, E. - *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake*. GCI scientific program report 1996. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1996.

- Leroy Tolles et al. 1991:** LEROY TOLLES, E., WEBSTER, Fred, A., THIEL, C.E., KIMBRO, Edna, E.A., GINELL, William, S. - *Framework for understanding the seismic performance of adobe*. In: *Conference on seismic retrofit of historic buildings, San Francisco, November 18-19 1991*. National Park Service. San Francisco. U.S.A., 1991.
- Li Zuixiong 1990:** LI ZUIXIONG - *Consolidation of a neolithic earthen site with potassium silicate*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 295-301. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Margueron 1993 :** MARGUERON, Jean-Claude - *Premiers regards sur les solutions techniques mises en oeuvre à Mari (Syrie), vers 2500-2000 av. J.-C., pour la conservation e l'architecture de terre*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 299-303. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Mari et al. 1998 :** MARI, C., CAPRIANI, Ugo, FINOTELLI, F. - *Progetto di restauro e valorizzazione dell'antica Ebla*. In: *Restauro e valorizzazione turistica*. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Rome. Italie, 1998.
- Matero 1995: F.G. :** MATERO, Franck, G. - *A programme for the conservation of architectural plasters in earthen ruins in the American Southwest, Fort Union National Monument, New Mexico, USA*. In: *Conservation and management of archaeological sites*. vol. 1. n° 1. p. 5-24. James & James. London. Royaume-Uni, 1995.
- Matero 1997: F. G. :** MATERO, Franck, G. - *Managing change. Conservation of surface finished at Mesa verde's cliff dwellings*. In: *CRM*. vol. 20. n° 10. p. 39-42. US Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources. Washington. Royaume-Uni, 1997.
- Mesbah et Olivier 1990 :** MESBAH, Ali, OLIVIER, Myriam - *Essais simplifiés pour l'identification des sols*. In: *1er séminaire international sur l'ingénierie des constructions en terre, 30-31 Mai, 1er Juin 1990, Marrakech*. LPEE. Casablanca. Maroc, 1990.
- Metzger et al. 1988 :** METZGER, T.R., NORDBY, L., TROTT, J. - *Pueblo Grande preservation plan*. Pueblo Grande Museum, Archaeology Division. Phoenix. U.S.A., 1988.
- Middleton et Schneider 1987:** MIDDLETON, G.F., SCHNEIDER, Laurie, M. - *Earth-wall construction. Bulletin n° 5. Fourth edition*. National Building Technology Centre. Chatswood. Sydney. Australie, 1987.
- Morales Gamarra 1994:** MORALES GAMARRA, Ricardo - *La conservación de relieves de barro policromos en la costa norte del Perú*. In: *Moche. Propuestas y perspectivas. Actas del primer coloquio sobre la cultura Moche, Trujillo, 12 al 16 de abril de 1993*. p. 477-492. Universidad Nacional de la Libertad, Instituto Francés de Estudios Andinos, Asociación Peruana para el Fomento de las Ciencias Sociales. Trujillo. Peru.
- Moraru et al. 1993 :** MORARU, D.S., DIMA, L., SANDRU, L. - *La consolidation des constructions historiques et/ou archéologiques en terre (argile) par injection électrocynétique avec une solution de chaux-bentonite-urée*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 426-428. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Nardi 1988 :** NARDI, R. - *Conservation of medieval structures of mudbrick and of fired brick laid in clay*. In: *5th international meeting of experts on the conservation of earthen architecture*. p. 71-80. CRAterre-EAG. Grenoble. France, 1988.
- Naval Mas 1990:** NAVAL MAS, A. - *Restauración y mantenimiento de las casas de Labranza del somontano en el alto Aragón*. Diputación General de Aragón, Departamento de Ordenación del Territorio. Saragossa. Espagne, 1990.
- Odul 1990 :** ODUL, Pascal - *Etude de pathologie réalisée à la demande de Fernand Fédèle*. Rapport d'expertise. EAG, CRAterre. Grenoble. France, 1990.
- Odul 1990 :** ODUL, Pascal - *Pathologie humide de constructions en terre : méthodologie de diagnostic*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints*. p. 404-413. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Oliver 2002:** OLIVER, Anne, 2002 - *Conservation interventions for non-decorated earthen materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 18 p., 2002.
- Oliver 2002:** OLIVER, Anne - *Conservation interventions for earthen archaeological sites*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 19 p., 2002.
- Oliver 2002:** OLIVER, Anne - *Modified earthen materials; an overview of current research*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 12 p. & *bibliography related to the section (117 ref.)*.
- Ottazi et Villagarcia 1995 :** OTTAZI, G., VILLAGARCIA, G. - *Ensayos de simulacion sismica en viviendas de adobe*. In: *Habiterra. Exposición iberoamericana de construcciones de tierra*, p. 220-221. ESCALA. Santafé de Bogotá. Colombie, 1995.
- Pearson 1995 :** PEARSON, Gordon, T. - *Repair techniques in the Test valley : dealing with structural cracks*. In: *Out of earth II. National conference on earth buildings*. p. 182-186. Plymouth School of Architecture, Centre for Earthen Architecture. Plymouth. Royaume-Uni, 1995.
- Pearson 1992 :** PEARSON, Gordon, T. - *Conservation of clay & chalk buildings*. Donhead. London. Royaume-Uni, 1992.

- Peroni et al. 1994** : PERONI, S., TERSIGNI, C., TORRACA, Giorgio - *Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes*. In: *International course on the preservation of the earthen architectural heritage. GAIA project, PAT 94, chap. Mortars, plasters and renders*. CRATerre, ICCROM . Grenoble / Rome. France & Italie, 1994.
- Pinilla Velasco 1991** : PINILLA VELASCO, F. - *Métodos de eliminacion de humedades por capilaridad*. In: *Jornadas sobre restauracion y conversación de monumentos. Madrid, 24 y 25 de abril de 1989. p. 199-203*. Instituto de conservación y restauración de bienes culturales. Madrid. Espagne, 1991.
- Piqué et Rainer 1996** : PIQUÉ, Francesca, RAINER, Leslie - *Conservation of the bas-reliefs from the salle des bijoux at the musée historique, palais royaux d'Abomey*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1996.
- Piqué et Rainer 1997**: PIQUÉ, Francesca, RAINER, Leslie - *Benin : the royal palaces of Abomey*. In: *US/ICOMOS. n° 5. p. 3, 10*. US/ICOMOS. Washington. U.S.A., 1997.
- Pujal 1993** : PUJAL, A.J. - *Restoration techniques for earthen buildings of historical value. Actual cases*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal. p. 244-249*. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- Ramirez 1992** : RAMIREZ, Beatriz - *La pathologie des anciennes constructions en terre. Diagnostic. Méthode d'observation*. EAG. Grenoble. France, 1992.
- Rainer 2002**: RAINER, Leslie H. - *Interventions and maintenance of decorated surface on earthen architecture*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 25 p. 2002.
- Rainer 2003**: RAINER, Leslie H. - *Water, wind, salt, biological, Environmental, deterioration / pathology*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 20 p., 2003
- Ridout 2002**: RIDOUT, Brian V. - *Overview of moisture monitoring and biological control in the walls of earth buildings*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 23 p., 2002.
- Roselund 1993** : ROSELUND, N. - *Repair of cracked adobe walls by injection of modified mud*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal, p. 336-341*. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbon. Portugal, 1993.
- San Bartolomé 1995** : SAN BARTOLOMÉ, A. - *Ensayo sismico de un modulo de tapial reforzado*. In: *Habiterra. Exposición iberoamericana de construcciones de tierra, p. 222-223*. ESCALA. Santafé de Bogotá. Colombie, 1995.
- Saremkalali et Witmann 1987** : SAREMKALALI, H., WUTMANN, F.H. - *Protection des maçonneries en terre crue*. In: *Le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation. Colloque international 18-19-20 mars 87 à l'ENTPE. p. 175-193*. Formequip. Lyon. France, 1987.
- Saunders 1997** : SAUNDERS, J. - *Conserving historic earthbuildings*. In: *EBANZ newsletter. May 1997. p. 25-28*. EBANZ. Whangarei. Nouvelle Zélande, 1997.
- Scarato 1987** : SCARATO, Pascal - *Pathologie, restauration, réhabilitation terre. Auvergne Rhône Alpes, une association spécialisée sur le terrain*. In: *Le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation. Colloque international 18-19-20 mars 87 à l'ENTPE. p. 139-150*. Formequip. Lyon. France, 1987.
- Selwitz 1995**: SELWITZ, C. - *Saving the Fort Selden ruins. The use of a composite blend of chemicals to stabilize fragile historic adobe*. In: *Conservation and management of archaeological sites. vol. 1. p. 69-71*. James & James. London. Royaume-Uni, 1995.
- Selwitz 1995** : SELWITZ, C. - *Continuing research on the development of a composite treatment for preserving historic adobe*. In: *US/ICOMOS. Committee on earthen architecture. n° 10. p. 10-11*. US/ICOMOS. Washington. U.S.A., 1995.
- Selwitz et Caperton 1995** : SELWITZ, C. , CAPERTON, Th. J. - *Chemical stabilization of adobe in the restoration of the Montañño store*. In: *APT bulletin. p. 37-41*. APT. Fredericksburg. U.S.A., 1995.
- Selwitz et al. 1990** : SELWITZ, C. , COFFMAN, R., AGNEW, Neville - *The Getty adobe research project at Fort Selden. III. An evaluation of the application of chemical consolidants to test walls*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints. p. 255-260*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Semple Kerr 1996** : SEMPLE KERR, J. - *The Conservation Plan*. The National Trust of Australia. Sydney. Australie, 1996 (4th enlarged edition).
- Silver 1990** : SILVER, Constance, S. - *Aztec ruins national monument : report on the conservation treatment of plasters in rooms 117 and 156*. Conservation of Cultural Treatment. New York. U.S.A., 1990.
- Silver 1990** : SILVER, Constance, S. - *Analyses and conservation of Pueblo architectural finishes in the American Southwest*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture. Adobe 90 preprints. p. 176-181*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Silver 1992**: SILVER, Constance, S. - *Conservation treatment of prehistoric murals on mud renderings at Aztec ruins national monument*. In: *US/ICOMOS Newsletter. n° 7. p. 6*. US/ICOMOS. Washington. U.S.A., 1992.
- Skibinski 1991** : SKIBINSKI, S. - *Problemas de conservación de monumentos arqueologicos de piedra en el Peru y Ecuador*. UNESCO, Wydawnictwa UMK. Paris / Torun. France & Pologne, 1991.

- Sramek et Losos 1990** : SRAMEK, J., LOSSOS, L. - *Outline of mud brick structures conservation at Abusir, Egypt*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture*. Adobe 90 preprints. p. 449-454. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Stanley Price et al. 1996** : STANLEY PRICE, Nicholas, TALLEY, K. Jr., MELUCCO VACCARO, A. - *Historical and philosophical issues in the conservation of cultural heritage*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1996.
- Stevens 1986** : STEVENS, André - *Structures nouvelles de protection des sites archéologiques du tiers-monde*. In: *Preventive measures during excavation and site protection. Conference. Mesures préventives en cours de fouilles et protection du site*. Ghent, 6-8 novembre 1985. p. 225-244. ICCROM. Rome. Italie, 1986.
- Sullivan 1996** : SULLIVAN, Sharon - *Heritage Management Training Project. Course Manual*. Edited for publication by Leora Kirwan and Peter Judge. Commonwealth of Australia. Australie, 1996.
- Sullivan 1997** : SULLIVAN, Sharon - *A Planning Model for the Management of Archaeological Sites*, in *The Conservation of Archaeological sites in the Mediterranean Region*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1997.
- Taylor 1987** : TAYLOR, Michaël Romero - *An overview and assessment of cappings used for protecting exposed adobe walls*. Architectural Conservation Course. Rome. Italie, 1987.
- Taylor 1987** : TAYLOR, Michaël Romero - *Fort Selden test wall project. Second annual status report*. Museum of New Mexico. New Mexico. U.S.A., 1987.
- Taylor 1990** : TAYLOR, Michaël Romero - *An evaluation of the New Mexico State monuments adobe test walls at Fort Selden*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture*. Adobe 90 preprints, p. 383-389. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Teutonico 1991** : TEUTONICO, Jeanne-Marie - *Memorandum. Traditional claywork (cob and daub) seminar*. In: *Traditional claywork (cob and daub) seminar to be held at Bowhill, Exeter, 6 february 1991*. English Heritage. Londres. Royaume-Uni, 1991.
- Teutonico 1988** : TEUTONICO, Jeanne-Marie - *A laboratory manual for Architectural Conservation..* ICCROM. Rome. Italie, 1988.
- Teutonico et al. 1994**: TEUTONICO, Jeanne-Marie, McCaig, I., Burns, C., Ashurst, John - *The Smeaton Project : factors affecting the properties of lime-based mortars*. English Heritage. Londres. Royaume-Uni, 1994.
- Tharan 1987** : THARAN, M. - *Pathologie de l'adobe*. In: *Le patrimoine Européen construit en terre et sa réhabilitation. Colloque international 18-19-20 mars 87 à l'ENTPE*. p. 507-516. Formequip. Lyon. France, 1987.
- Torraca 1988** : TORRACA, Giorgio - *Porous building materials. Materials science for architectural conservation*. ICCROM. Rome. Italie, 1988.
- Torrealva Davila 1995** : TORREALVA DAVILA, Daniele - *Ensayos sismicos de modulo de Quincha en dos pisos*. In: *Habiterra. Exposición iberoamericana de construcciones de tierra*, p. 224-225. ESCALA. Santafé de Bogotá. Colombie, 1995.
- Uviña et al. 1998** : UVIÑA, Francisco, C. - *Adobe architecture conservation handbook*. Cornerstones Community Partnerships. Santa Fe. U.S.A., 1998 (réédité en 2006).
- Van Balen 1990** : VAN BALEN, Karen - *Méthodologie de la conservation et de la restauration des monuments en terre*. In: *6th international conference on the conservation of earthen architecture*. Adobe 90 preprints. p. 182-187. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. U.S.A., 1990.
- Vargas Neuman et al. 1985** : VARGAS NEUMAN, Julio, BARIOLA, J., BLONDET, M., METHA, P.K. - *Seismic strenght of adobe masonry*. In: *Conference papers of the international colloquium on "Earth construction technologies appropriate to developing countries"*. *Proceedings of the international colloquium*. Brussels, 10-12 December 1984. p. 392-408. PGC-HS/KU Leuven, CRA/UCL. Leuven. Belgique, 1985.
- Vargas Neumann 1993** : VARGAS NEUMAN, Julio - *Earthquake resistant rammed-earth (tapial) buildings*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 503-508. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbonne. Portugal, 1993.
- Vargas Neumann 1993** : VARGAS NEUMAN, Julio - *Seismic retrofitting of historic adobes*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 533-538. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbonne. Portugal, 1993.
- Velde 2003**: VELDE, Bruce - *Clay minerals and Earthen Materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 24 p., 2003.
- Velde 2003**: VELDE, Bruce - *Geology of clays and earthen materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 24 p., 2003.
- Velde 2003**: VELDE, Bruce - *Compaction of soils and fine grains earthen materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 8 p., plates.
-

Watanabe et Bossart 1992 : WATANABE, Kunio, BOSSART, P. - Complementary methods for measuring water inflow into the ventilation drift. In: *Technical report 91 - 34. Grimsel test site. Overview of Nagra field and modeling activities in the ventilation drift (1988 - 1990)*. Nagra. Wettingen. Japon, 1992.

Watanabe et Tsutsui 1994 : WATANABE, Kunio, TSUTSUI, Y. - *A new equipment used for measuring evaporatin in a field. Un nouvel équipement utilisé dans la mesure de l'évaporation sur le terrain*. In: *7th international IAEG Congress*. p. 309. Balkema. Rotterdam. Pays-Bas et Japon, 1994.

Webster 1994 : WEBSTER, Frederick A. - *Research and code improvement. Some thoughts on "Adobe codes"*. In: *Adobe codes. For the owner-coordinator or professional. A guide to the adobe codes of Arizona, New Mexico and Texas - with California details. 3rd edition*. p. 53-58. Southwest Solaradobe School. Bosque. U.S.A., 1994.

Webster et Guinn 1993 : WEBSTER, Frederick A., GUINN, J.D. - *Evolution of sismic retrofit techniques for historic and older adobes in California*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra. 24 a 29 de Outubro 1993, Silves, Portugal*, p. 521-525. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. Lisbonne. Portugal, 1993.

Webster 2002: WEBSTER, Frederick A. - *Seismic deterioration/pathology of earthen architecture and seismic interventions in earthen architecture*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 10 p., 2002.

Concevoir, restaurer ou réhabiliter une architecture de terre & Construire en terre en milieu sismique

(Article extrait de l'*Encyclopédie du bâtiment : Cahier n° 17 : Construire en terre; chap. 2 – Recommandations de conception architecturale*, in *Encyclopédie du Bâtiment*, remise à jour, éditions Weka, Paris, juin 2005, 73 p)

1 - Recommandations de conception architecturale

1.1. - Renouer avec les traditions et les savoir-faire

La qualité d'une architecture de terre, souvent appréciée de façon réductrice en regard de sa durabilité, dépend fondamentalement de la maîtrise de la conception architecturale puis de la maîtrise de la mise en oeuvre, considérant que le matériau terre, quoique performant dans la gamme de matériaux minéraux similaires (pierres tendres et bétons maigres, par exemple) demeure très exposé, notamment aux mécanismes de dégradation de l'eau et de l'humidité. Cette relative fragilité du matériau, employé par les bâtisseurs depuis des millénaires, n'a pas pour autant limité le registre des applications architecturales possibles ni les performances du matériau et des systèmes constructifs, ni la résistance des bâtiments qui duraient souvent bien au-delà du temps de vie de plusieurs générations successives.

La question centrale de la bonne conception architecturale et de la bonne mise en oeuvre oblige à reconsidérer le savoir et le savoir-faire du maître d'oeuvre et du bâtisseur. C'est en effet en renouant avec une longue tradition du "savoir-concevoir" et du "savoir bâtir" en terre et en exploitant les apports récents d'une technologie actuelle que l'on peut et pourra encore produire une architecture de terre de grande qualité. Plusieurs dictons régionaux prennent acte de ce bon sens et de cette sagesse populaires. Tel ce dicton de la région du Devon, en Angleterre : "*All cob wants is a good hat and a good pair of shoes*" (Tout ce que souhaite une maison en terre, c'est un bon chapeau et une bonne paire de chaussures). Traduisons une bonne toiture et un bon soubassement.

Force est-on de constater que ce "savoir architectural" et ce "savoir construire" sont malheureusement aujourd'hui éclipsés par une nouvelle démarche que l'on dénommera ici le "savoir blinder". Une tendance actuelle de la construction en terre fait en effet davantage appel à l'ingénierie, parfois très sophistiquée, en vue d'accroître la résistance à l'eau de la "terre" tout en ignorant la démarche traditionnelle éprouvée qui consiste à rendre le "bâtiment" résistant à l'eau c'est-à-dire à intégrer pleinement le rôle central de l'architecture pour garantir la qualité, la performance, la résistance et la durabilité des constructions. Cette démarche du blindage est malheureusement très souvent un costume cache-misère qui dissimule les erreurs d'une mauvaise conception architecturale ou d'une conception qui n'est pas spécifique au matériau terre, qui emprunte maladroitement à la construction en béton ou en blocs creux de béton. Les bâtiments ainsi conçus sont dotés de chaînages en tous genres, d'enduits, ou cherchent une protection dans la stabilisation excessive du matériau. Une telle démarche tend aussi à sophistiquer la production et à grever son coût de réalisation.

1.2. - Cinq règles essentielles de l'art de concevoir et de bâtir en terre

Au-delà de ce que l'on nommera une bonne conception architecturale, il est possible de résumer en cinq points les règles essentielles de l'art de concevoir et de bâtir en terre crue :

1. nécessairement connaître le matériau, ses caractéristiques, ses propriétés et ses performances ;
2. nécessairement connaître les particularités de la ou des techniques de construction employées (adobe, pisé, bloc comprimé, bauge, torchis, etc.), leur outillage adapté et leurs modes de mise en oeuvre spécifiques ;
3. nécessairement adopter des systèmes constructifs simples et compatibles avec les modes de travail du matériau : bonne résistance à la compression, faible résistance à la traction, flexion et cisaillement ;
4. nécessairement adopter des principes de conception, des solutions techniques et constructives propres aux constructions et aux architectures de terre en veillant à la protection des parties de l'édifice particulièrement exposées aux agents dominants de dégradation (eau, chocs, par exemple) ;
5. nécessairement soigner l'exécution des ouvrages.

1.3. - Bien connaître les pathologies classiques pour bien construire

L'observation des pathologies classiques des architectures de terre et la bonne compréhension des mécanismes (causes, effets) qui la génèrent permet de relever l'importance d'une démarche de conception et de mise en oeuvre qui doivent nécessairement intégrer un "savoir concevoir" et un "savoir bâtir" spécifique aux architectures de terre.

1.3.1. - Pathologie d'humidité

I. - Présence de l'eau et précautions générales

Les bâtiments construits en terre sont particulièrement sensibles à l'eau. Pour que l'eau agisse, trois conditions doivent être réunies :

- présence d'eau à la surface du bâtiment ;
- présence d'une ouverture dans cette surface qui permet à l'eau de s'introduire ;
- action d'une force - pression, gravité, capillarité - qui fait pénétrer l'eau dans l'ouverture.

En éliminant la possibilité d'une réunion de ces trois conditions favorables au cheminement dynamique de l'eau, il est possible de garantir une situation saine qui préserve du risque de pathologie d'humidité.

Il est notamment possible de réduire l'action de l'eau sur les murs de terre en construisant de bonnes fondations et en élevant des soubassements, en protégeant le sommet des murs et en supprimant les risques de ruissellement et de condensation de surface. Il faut toutefois veiller à ne pas imperméabiliser les murs de terre qui ont avant tout besoin de respirer, d'être perméables aux migrations de vapeur d'eau. La meilleure disposition à prendre consiste à éloigner l'eau du bâtiment, notamment en s'assurant de la bonne qualité du drainage périphérique de la base des murs. On retiendra le fait que l'imprégnation de surface du mur par l'eau et l'humidité, généralement suivie d'un cycle d'évaporation n'est pas très grave mais que la pénétration de l'eau et sa stagnation dans la masse des murs de terre peut être très grave et causer des désordres majeurs d'ordre structurel (altération du matériau) et structural (altération de l'enveloppe construite).

II. - Mécanismes et effets, désordres typiques

Les actions les plus typées de l'eau sont résumées par ce que l'on dénomme "le système de la goutte d'eau" (Fig. 47): impact, ruissellement, stagnation, absorption, infiltration, rejaillissement. Dans un deuxième stade, l'action de l'humidité (plus liée à la stagnation, à la perméabilité et la capillarité) agit de façon très malsaine car le plus souvent dissimulée. Ces actions néfastes de l'eau et de l'humidité sont d'autant plus fortes que le matériau est d'une porosité élevée.

La pathologie classique confirme l'existence de trois points faibles principaux, particulièrement exposés et méritant une attention soutenue lors de la phase de conception des projets :

- la base du mur ;
- le haut du mur ;
- un ensemble de points faibles localisés : tableaux d'ouvertures, angles extérieurs, saillies, Évacuation des eaux pluviales.

Hors ces points faibles, on observe le plus souvent que la partie courante des murs de terre est beaucoup moins sensible aux agents d'altération ou de dégradation.

A. Fondations

La base des murs, à partir des fondations peut être sujette au mécanisme malsain de capillarité qui peut avoir plusieurs origines : fluctuations saisonnières de la nappe phréatique, rétention d'eau par une végétation arbustive proche des murs, détériorations du réseau d'évacuation des eaux pluviales ou des eaux vannes, déficience ou absence du drainage périphérique, stagnation d'eau à proximité des murs.

Ce mécanisme de capillarité et ces causes variées peuvent créer et entretenir un état humide durable qui contribuera à affaiblir la base des murs de terre : changement d'état du matériau (de l'état solide à l'état plastique) avec moindre capacité à supporter les charges et risque d'effondrement, développement d'efflorescences salines qui favorisent le creusement de cavités et l'attraction d'une faune d'insectes et de rongeurs contribuant à accuser le minage de la base des murs.

B. Soubassement

Au dessus du terrain naturel, la base des murs peut être attaquée par le rejaillissement de l'eau à partir du réseau d'évacuation des eaux pluviales (débordement du flux, fuites), à cause d'appuis de baies mal conçus (absence de goutte d'eau par exemple), du fait d'éclaboussures de flaques stagnantes (mauvais drainage) au passage de véhicules, du fait d'un lavage intérieur des sols (plinthes peu élevées) ou encore à cause d'un phénomène de condensation de surface en paroi froide (notoire en zones climatiques à écarts de température diurne et nocturne marqués), à cause d'une imperméabilisation de surface bloquant l'évaporation (chaussée goudronnée, trottoir en béton) ou favorisant un mécanisme de fixation de point de rosée à l'interface du mur et de sa peau (enduit étanche), enfin à cause du développement d'une flore parasite pathogène (mousse) favorisée par une ambiance générale d'humidité. Ces mécanismes et causes variées contribuent au creusement et à l'infiltration de l'eau dans de la base des murs, au séjour prolongé de l'humidité qui affaiblit la résistance du matériau et de la structure.

C. Mur courant

Lorsque le mur courant est sain il est peu exposé au risque de pathologie due à l'eau ou à l'humidité. Par contre, des dégradations telles que fissures de tassement différentiel ou de cisaillement, fissures de retrait dues aux cycles répétés de mouillage-séchage, joints de mortier dégradés, trous de clefs de banches non rebouchés, sont des voies directe d'infiltration de l'eau qui accentuent les mécanismes de capillarité et de stagnation. Il peut alors s'en suivre une accélération des mécanismes de creusement du mur et d'affaiblissement structural du fait d'un séjour prolongé de l'humidité.

D. ouvertures et baies

Le système de la goutte d'eau est notamment très actif à l'interface du mur et des tableaux d'ouvertures (portes et fenêtres). L'eau ruisselle au droit du linteau, des jambages, de l'appui ou du seuil et s'infiltré entre la maçonnerie ou le bâti du tableau et le mur. Des dégradations, d'abord localisées peuvent très vite s'étendre et accuser un creusement significatif du mur de terre jusqu'à mettre en péril la stabilité structurale des systèmes d'ouverture et de baies.

E. enduits

Lorsque les murs d'un bâtiment en terre sont revêtus d'un enduit étanche aux migrations de vapeur d'eau (enduits au ciment ou enduits plastifiés par exemple), la condensation sur la paroi froide du mur (intérieur en été et extérieure en hiver) génère un point de rosée à l'interface de l'enduit et du mur qui se traduit par une pathologie humide cachée activant la dégradation structurelle du matériau, son creusement et pouvant causer des risques d'effondrement inattendu du mur.

F. planchers, toitures plates

Les appuis de poutres de planchers et dans certains cas les traversées de mur par ces mêmes poutres (systèmes traditionnels de toitures plates par exemple), peuvent être un lieu privilégié d'infiltration de l'eau, notamment par le droit des fissures structurales dues au poinçonnement aux appuis ou au cisaillement. Ces infiltrations localisées peuvent à la longue occasionner un affaiblissement structural et des risques d'effondrement.

G. Évacuation des eaux pluviales

C'est souvent au passage des gargouilles mal conçues et non protégées à leurs entrées ou déverses que l'on observe des problèmes d'humidité dus au ruissellement et à des infiltrations. Le bouchage de ces gargouilles par des matériaux transportés par le drainage des toitures peut amplifier cette pathologie humide: déverse, absorption d'eau stagnante, capillarité, etc. Les gargouilles déversant en façades exposées aux vents dominants favorisent le rejaillissement sur les murs et donc un lessivage puis une érosion ; de même les gargouilles déversant au dessus de piliers ou de contreforts, de baies ou de saillies dans le mur.

H. acrotères mal conçus

Les constructions traditionnelles à toitures plates présentent souvent une solution d'acrotère couronnant le haut des murs. Cette partie de l'édifice, bien protégée (enduit, chapeau débordant) ne présente pas de risque d'exposition à l'eau pour peu qu'elle soit régulièrement entretenue. Par contre, lorsque les mécanismes de dégradation (détachement d'enduit,

dégradation partielle du chapeau ou fissures) sont engagés, l'action pathogène de l'eau peut être très rapide et contribuer à une destruction partielle de l'acrotère exposant par suite le haut des murs. On observera également que le séjour prolongé d'objets sur les terrasses, en appui contre les acrotères ou l'arrosage de bacs à plantes décoratives peut aussi être à l'origine d'une pathologie humide. Des toitures plates et acrotères bien drainés, entretenus et propres, dotés de systèmes d'évacuation des eaux pluviales bien conçus suppriment le risque de pathologie humide.

III. Précautions à prendre

Les bâtisseurs traditionnels, sous toutes les latitudes du monde, ont imaginé des dispositions particulières, d'ordre architectural (forme du bâtiment, traitement soigné des détails) qui contribuent à assurer une bonne qualité et une bonne durabilité aux bâtiments. On prendra ici l'exemple des architectures en "pisé" traditionnelles du Sud marocain (vallées du Drâa, du Dadès, du Ziz et du Rhéris, douars de l'Atlas) qui témoignent de cette habilité du bâtisseur traditionnel, de son remarquable "savoir concevoir" et "savoir bâtir" (Fig.1).

1.3.2. - Pathologie de structure

Comme toutes les constructions, celles bâties en terre sont exposées à un risque de pathologie structurale qui peut entraîner des dégradations irréversibles. Le respect des propriétés du matériau et des recommandations et codes de bonne pratique de mise en oeuvre, la réalisation de solutions constructives exploitant les performances caractéristiques du matériau, sont indispensables pour réduire voire supprimer ce risque. Dans cette approche de la pathologie structurale, la relation du bâtiment et de son assiette, le terrain, demeure centrale, notamment en ce qui concerne les questions relatives à la stabilité de la structure (système fondation-soubassement-mur-toiture) et au tassement différentiel.

I. Désordres typiques

Les désordres types de structure se manifestent par des fissures mais aussi par l'effet de fortes contraintes localisées (poinçonnement, flambement, effondrement), ou encore une décomposition structurelle du matériau sous l'action de l'eau et de l'humidité car les problèmes de structures et d'humidité sont souvent reliés. Ainsi soigner les pathologies d'humidité est toujours un préalable nécessaire avant de s'attaquer aux problèmes de structure.

A. Fissures structurales

Elles proviennent le plus souvent d'erreurs d'exécution, de modifications ultérieures du bâtiment ou de causes accidentelles. Une trop forte compression, un poinçonnement localisé, des efforts excessifs de traction, flexion ou cisaillement peuvent mettre le matériau en situation de dépassement de résistance aux contraintes mécaniques. Ces contraintes qui sont soit localisées (ouvertures, planchers) soit exercées dans la masse des murs (mauvaises fondations et tassement différentiel) créent des fissures qui sont à même de diminuer la stabilité des édifices et de créer des voies d'infiltration de l'eau.

B. Fissures de retrait

Elles sont le plus souvent dues à des négligences de contrôle de la qualité du matériau terre employé et de sa mise en oeuvre (mauvais contrôle de la T.E.O. avec compactage côté humide par exemple). Des terres trop argileuses ou réciproquement peu cohésives, présentant des propriétés d'instabilité structurelle aux cycles d'humidification-séchage ou de porosité élevée, sont exposées à des risques de fissurations de retrait. Ces fissures sont caractéristiques, verticales et régulières (tous les 0,50 m à 1 m pour le pisé par exemple). Le retrait peut être aussi du à de fortes variations hygrothermiques (diurnes-nocturnes, saisonnières).

C. Flambement

L'élanement d'un mur mal ou non chaîné, l'exercice localisé de charges trop importantes, peuvent être à l'origine de fortes contraintes mécaniques pouvant déformer la structure : flambement du mur, ventre extérieur que traduisent souvent des fissurations (pas toujours car la terre présente des caractéristiques de fluage très importantes).

D. Effondrement

La perpétuation d'une pathologie humide et l'accumulation des contraintes mécaniques exercées sur le matériau ou les systèmes constructifs accroissent la fragilité des structures et diminuent leur résistance. Des contraintes occasionnelles ou accidentelles (tassement différentiel, tassement du terrain, gonflement du sol, séismes) peuvent également être à l'origine d'un effondrement du bâtiment, partiel ou total.

E. Décomposition du matériau

La structure minéralogique et physico-chimique du matériau peut évoluer et se désagréger, notamment sous les effets de l'eau et de l'humidité, du gel, de fortes chaleurs. La fixation de sels ou de parasites organiques peut contribuer à cette désagrégation structurelle et par suite structurale.

II. Principales causes de désordre des structures

Elles sont de plusieurs ordres dont principalement :

- Une sollicitation du matériau et des systèmes constructifs à l'encontre de leurs propriétés et caractéristiques mécaniques : par exemple en traction ou en flexion alors que le matériau terre ne travaille vraiment bien qu'en compression.
- Une forte pathologie humide.
- L'édification d'un bâtiment en terre sur un mauvais terrain: un sol instable, de résistance trop faible, sol gonflant ou expansif, glissement de terrain ou tassement etc.
- La mauvaise conception du bâtiment : des fondations sous dimensionnées ou excentrées, murs non chaînés, trop élancés, trop percés d'ouvertures, des tableaux de baies trop lourds (linteaux et jambages sur dimensionnés) qui peuvent cisailer les allèges ou sous dimensionnés (flèche puis effondrement du linteau), des charges de toitures non reprises par un chaînage, etc.
- La mauvaise mise en œuvre : le choix d'une mauvaise terre qui pénalise la qualité du matériau de construction, des systèmes constructifs mal exécutés (mauvais appareillage des blocs de terre, le mauvais ancrage des poutres de plancher, des évacuations des eaux pluviales mal soignées, par exemple) etc.
- De nombreuses causes annexes : les influences climatiques (action du vent sur un terrain de pathologie humide qui accroît l'érosion par alvéolisation du matériau), actions multiples des êtres vivants (grattage et arrachage du matériau, actions des insectes, petits rongeurs et autres animaux, flore parasite) etc.

III. Grands principes de solutions constructives

On n'entrera pas ici dans le détail des solutions constructives qui sont fort nombreuses sachant que le matériau terre peut être employé dans tous les systèmes et être associé à une gamme infinie d'autres matériaux et composants. La littérature technique (cf. bibliographie) peut apporter des précisions fort utiles aux concepteurs et aux bâtisseurs et surtout leur éviter de graves erreurs. Il suffit de rappeler ici que la construction en terre est un art spécifique qui décrit des règles et des codes de bonne pratique qui lui sont propres. C'est en effet en dérogeant à la connaissance des propriétés et caractéristiques, à l'application des principes de conception et des modes d'exécution qui sont propres au matériau terre et à l'architecture de terre que le maître d'oeuvre et le bâtisseur s'exposent à des risques pathologiques. Tout art exige une parfaite connaissance et maîtrise des outils et des techniques qui lui sont propres auxquelles s'ajoute l'expérience cumulée. Cet apprentissage par la voie des essais et des erreurs est le lot du bâtisseur en terre comme celui du bâtisseur en autres matériaux.

On attirera ici l'attention des maîtres d'oeuvre et des entrepreneurs sur l'identification de la typologie générale des dispositions constructives, structurales et spatiales possibles (murs, ouvertures, ressources du plan, couvertures) à partir d'un même élément de construction, pour les principaux modes de mise en œuvre du matériau terre que sont le pisé et la brique (le bloc de terre comprimée et le bloc d'adobe). Cette typologie est synthétisée par les illustrations suivantes : pour le pisé (Fig. 2, 3, 4, 5 et 6), pour la brique (Fig. 7, 8, 9 et 10). Des exemples de concepts architecturaux empruntés à des architectes célèbres montrent que le matériau terre est doté de grandes ressources qui ont déjà été mise en valeur par les traditions et la modernité architecturales.

2. - Recommandations essentielles pour la restauration et la réhabilitation des ouvrages anciens bâtis en terre crue

Il n'y a pas de "recettes", plutôt des solutions appropriées. Mais il y a certainement des interventions totalement néfastes. En restauration ou réhabilitation, il faut surtout éviter de bouleverser le système d'équilibre initial du bâtiment. Voici un ensemble de 10 recommandations assorties d'une description de modes d'intervention qui permettront de guider les maîtres d'oeuvres et les entreprises dans leurs pratiques de restauration et réhabilitation d'ouvrages anciens en terre.

2.1. – L'importance d'un bon diagnostique

Avant d'engager la restauration ou réhabilitation d'un édifice en terre crue, il importe d'établir un clair diagnostique de son état. Il faut bien observer les symptômes mais surtout en comprendre les causes et même plus encore l'origine des causes. Sans cela, les interventions ne seront que des pis-aller pouvant repousser l'échéance de problèmes plus graves. Un bon diagnostique distingue et analyse les problèmes "extrinsèques", liés à l'environnement du bâtiment (prendre du recul, observer autour), des problèmes "intrinsèques", liés au bâtiment lui-même, à l'évolution de ses matériaux, de sa structure et des systèmes constructifs. C'est le plus souvent un déséquilibre de la relation entre le bâti et son environnement, ou une rupture accidentelle de l'équilibre initial, qui est à l'origine de problèmes et des symptômes qui les manifestent. Un édifice en terre crue, il est toujours bon d'insister, peut être sujet à deux types de pathologies : celles d'humidité et celles de structure.

2.2. – La terre crue ne fait pas bon ménage avec l'eau

Les édifices en terre crue sont particulièrement sensible aux effets de la pluie qui ruisselle le long des murs (voie d'eau en toiture, chéneau ou descente dégradés), qui rejaillit en pied de muret et aux remontées d'humidité par ascension capillaire (terrain saturé d'eau, mal drainé, rupture de canalisation). D'autres facteurs peuvent accentuer cette présence d'humidité : des trottoirs étanches en base des murs à l'extérieur, un dallage en béton en intérieur, des enduits trop étanches au ciment, une végétation immédiate abondante et mal entretenue. Revoir en cela l'introduction préalable sur les pathologies d'humidité.

2.3. - Faire respirer le bâtiment

Une règle essentielle doit être rappelée : un édifice en pisé et ses abords immédiats doivent "respirer": l'humidité, sous quelque forme qu'elle soit, doit pouvoir s'évaporer, être évacuée. Des drains français classiques, en rigole comblée de pierres et galets, mais éloignés du mur (à 80 cm min.), sont recommandés. Au pied des murs, le sol compacté en pente légère et une bande de graviers favoriseront une respiration du sol et une évaporation naturelle de l'humidité. Il faut éviter de planter des fleurs ou des arbustes contre les murs car ils retiennent l'humidité.

2.4. - La terre crue ne travaille bien qu'en compression

Les murs en terre crue résistent très mal aux efforts en traction et au cisaillement. Ces efforts sont le plus souvent à l'origine de fissures, voire de flambement (ventre du mur, faux aplomb accentué) pouvant évoluer au pire des cas vers un glissement et un effondrement. Les fissures les plus graves résultent souvent d'un tassement différentiel entre l'édifice et le sol. Des charges excessives et concentrées, l'adossement d'une extension (auvent, appentis, hangar) contre un bâti plus ancien, la présence d'humidité dans le sol, ont pu causer ce tassement et ces fissures très reconnaissables, ou "coups de sabre", qui partent du bas des murs, évoluent en diagonale et s'élargissent vers le haut. Il faut avant tout s'assurer que les fissures sont stabilisées : des témoins au plâtre, datés, évalués sur quelques mois, permettent de vérifier si elles sont "vivantes" ou "mortes".

2.5. - La reprise des fissures

Les fissures "mortes", mêmes larges, comme les cavités et "boulins" (trous des clés de coffrage non rebouchés), peuvent être facilement rebouchés au mortier de terre sablo-argileuse (max. 10 à 15% d'argile pour limiter le retrait). Eviter absolument le ciment qui n'adhère pas au pisé et peut également créer des ponts thermiques localisés (risques de condensation). Les fissures "vivantes" (si les témoins au plâtre se sont fissurés) peuvent exiger un traitement plus lourd : consolidation du sol et des fondations par injections de béton.

La réalisation d'un chaînage n'est indiquée qu'en cas de très graves problèmes de structure : désolidarisation des angles, fissures de "coups de sabre" nombreuses, reprises de maçonnerie importantes. C'est une opération coûteuse qui demande une découverte de toiture et dépose de charpente. Il n'est pas nécessaire de couler un chaînage sur toute l'épaisseur du pisé mais indispensable de le positionner au moins dans le tiers central de l'épaisseur du mur pour garantir une bonne verticalité de la descente des charges. Pour être efficace, un chaînage doit être bien ancré au mur (pose préalable de fers verticaux) et chargé en son couronnement (40 cm min. de maçonnerie de terre, en briques crues ou pisé coffré).

2.6. - Le sol du rez-de-chaussée

La réalisation d'une dalle en béton trop dosée en rez-de-chaussée (au-delà de 150 kg/m³ à 180 kg/m³) qui bloquerait l'évaporation doit être absolument évitée. Il faut préférer la pose d'un pavement en carreaux de terre cuite sur sable stabilisé ou chape de mortier maigre de chaux et sable recouvrant une couche de terre compactée sur hérisson de pierres.

2.7. - La création de nouveaux planchers

Dans la région du Dauphiné où la tradition du pisé domine, la réhabilitation des granges en logement amène souvent à créer de nouveaux planchers. De même, la restauration peut poser le problème de la restructuration des planchers avec un rehaussement ou un abaissement des niveaux. Dans chacun de ces cas, l'ancrage des poutres dans les murs doit être convenablement résolu. On ne saurait insister sur l'utilisation de matériaux compatibles avec les maçonneries de terre et préférer les planchers traditionnels en bois plutôt que la réalisation de planchers à poutrelles en béton et hourdis ou même des dalles de béton armé. Ces solutions "dures", souvent proposées par les entreprises, perturbent considérablement l'équilibre initial du bâtiment et induisent des rigidités structurales qui peuvent provoquer *a posteriori* des fissures. Aujourd'hui les solutions de planchers en poutres de bois et panneaux de fibres agglomérées, cloués ou vissés, sont courantes et tout à fait adaptées à la restauration ou réhabilitation des ouvrages en pisé. Mais pour toute réalisation de planchers, l'ancrage des poutres maîtresses (celles qui porteront un solivage secondaire) dans les murs doit être suffisamment important afin d'éviter un poinçonnement (charges concentrées) ou une rotation qui entraînent une rupture du matériau et un effondrement. Il faut donc ancrer ces poutres au delà de la mi-mur et surtout bien installer leur assise sur une semelle de répartition de la charge (qui facilite aussi le réglage du niveau de pose de la poutre) que l'on réalisera si possible en bois (section de madrier). Cette assise peut être aussi réalisée en briques maçonnées. La dimension de cette semelle est supérieure à la section horizontale de la poutre, de part et d'autre. On veillera aussi à maintenir un vide d'air (1 à 2 cm) entre le bout de la poutre ancrée et le mur de pisé afin de ventiler évitant ainsi le risque de condensation et de pourrissement du bois. Le rebouchage des cavités réalisées par l'ancrage des poutres, autour de celles-ci, peut être effectué au mortier de chaux et sable ou même au plâtre qui opère une légère expansion au séchage. Ces rebouchages doivent être proprement effectués afin de ne pas laisser de vide. Si les murs de pisé des ouvrages en restauration sont de mauvaise qualité (effritement important, pisé manquant de cohésion et partant en poussière au creusement des réservations d'ancrage des poutres) on conseillera plutôt de créer de nouveaux planchers sur des poutres posées contre les murs, en apparent. Ces poutres "murales" ou "muraillères" peuvent être soutenues par des corbeaux ou des petits poteaux, selon leur portée. Des solutions à portiques en bois (3 à 4 portiques selon la dimension des espaces restructurés), indépendant des murs, venant reprendre la charge des solives et des planchers sont aussi bien adaptées. Ce sont les solives et les planchers eux-mêmes qui garantissent le contreventement et donc la stabilité de ces solutions.

2.8. - Les baies et autres ouvertures

La création d'ouvertures surdimensionnées, la concentration de nouvelles ouvertures, l'ajout de balcons, l'utilisation abusive d'autres matériaux que la terre pour reprendre la structure (les blocs de béton ou le béton coffré), doivent être évités : modification de l'équilibre initial et ponts thermiques, condensation. Il est tout à fait possible de réaliser des reprises de maçonnerie en pisé coffré, en briques de terre, voire en bauge (boules de terre et paille). Les reprises ou créations de tableaux de baies peuvent être faites en briques cuites hourdées à la chaux ou en bois massif.

2.9. - Les enduits en terre

La tradition des enduits en terre n'est pas courante en France où l'on préférerait une finition au badigeon ou à l'enduit de chaux. Mais l'on oublie que cette finition était le plus souvent réalisée sur un corps d'enduit en terre argilo-sableuse amendée en paille finement hachée. Beaucoup d'édifices du patrimoine en bauge et en pans de bois et torchis le

confirment. Aujourd'hui, le renouveau des enduits en terre, du fait d'exigences normatives de résistance mécanique et de protection contre la pluie, est difficilement accepté en revêtement extérieur mais toléré en parement intérieur. Ces enduits en terre présentent plusieurs avantages. Tout d'abord leur compatibilité parfaite avec les murs en pisé auxquels ils adhèrent bien. Ensuite des qualités esthétiques évidentes de texture (grain et matière) et de couleur, avec une palette très riche de teintes selon l'oxydation des terres et la coloration naturelle de leur fraction argileuse. Enfin, autre avantage qui n'est pas le moindre, un enduit en terre est une protection anti-feu exceptionnelle. C'est pourquoi on observe aujourd'hui un retour impressionnant des enduits en terre avec la diffusion de produits prêts à l'emploi (terre livrée en sac) et des artisans qui se spécialisent. Nous avons déjà signalé la possibilité d'utiliser du mortier de terre pour la reprise des fissures et le rebouchage de cavités dans les murs en pisé à restaurer. Cela est en effet bien plus adapté qu'un rebouchage au béton ou aux parpaings de ciment qui est hélas trop souvent pratiqué par les entreprises. Une fois ce mal fait, on peut envisager, au moins en parement intérieur des murs, de maquiller ces reprises avec un enduit de terre. Une première couche peut être alors réalisée avec une terre assez argileuse, qui collera bien, mais qui fissurera au séchage. Une couche de finition devra être ensuite réalisée avec une terre plus argilo-sableuse, mêlée de paille hachée. Il faudra éviter de trop charger ces enduits de reprise à la terre (faible épaisseur) car il n'adhèreraient pas suffisamment. En maquillage extérieur de reprises au béton ou en parpaings, ce seront plutôt les enduits à base de chaux, éventuellement sur une couche de terre, qui conviendront. Cela permettra au moins de supprimer l'effet de "spectre" visible des parpaings que l'on observe sur les enduits au ciment par temps humide.

2.10. - L'isolation

Si l'on souhaite isoler une maison en pisé, il faut éviter les doublages intérieurs en panneaux complexes préfabriqués plaqués sur les murs qui posent souvent, à la longue, des problèmes de condensation cachée. On doit préférer des matériaux compatibles avec le pisé qui contribueront à valoriser son inertie thermique. Sur un dressage intérieur à l'enduit de terre et paille (1 cm), on pourra appliquer des panneaux de roseaux et barbotine de terre (épaisseur max. de 5 à 7 cm) ou bien des briques de terre-paille bâties au mortier de terre, ou encore un dressage en terre-copeaux bois. En surface, ces matériaux isolants peuvent recevoir un dressage en barbotine de terre finement tamisée puis un badigeon ou un enduit mince à la chaux calcique, un plâtre, voire une peinture (éviter absolument les peintures étanches). L'isolation extérieure, rarement pratiquée, est possible bien qu'elle contribue à supprimer l'aspect du pisé. Après un rebouchage des fissures et trous au mortier de terre sablo-argileuse, cette isolation peut être réalisée avec les matériaux évoqués qui sont posés contre un dressage préalable au mortier de terre. En finition, ils recevront un enduit qui sera réalisé en chaux et sable. Les chaux les mieux indiquées sont de dénomination "naturelle" ou chaux "calcique" (CL₉₀ ou CL₈₀) et peuvent être mélangées à des chaux moyennement hydraulique (NHL₂) selon des dosages bien répertoriés.

3 - L'état de la situation dans le domaine du parasismique

3.1. - Séismes et architectures de terre

L'activité sismique terrestre et sous-marine est permanente. Les séismes sont à l'origine de tragédies humaines considérables, causant la mort de milliers de personnes, comme nous le rappellent les terribles événements qui ont détruit durant ces dernières décennies des villes entières, au Mexique (Mexico), au Pérou (Huaraz), au Japon (Kobe), en Iran (Gasvin et Bam), en Turquie, en Italie ou plus récemment en Indonésie où l'effet tsunami (raz-de-marée) a été particulièrement dévastateur. En l'espace de quelques secondes, les habitats s'effondrent écrasant leurs occupants par la charge des toitures et des dalles qui ne sont plus soutenus par des murs porteurs se déversant. Face à un séisme de forte magnitude (établie sur l'échelle de Charles Richter en 1935 jusqu'à la valeur de 10) et de grande intensité (de I à XII sur l'échelle d'intensité Mercalli modifiée), peu d'ouvrages sont capables de résister suffisamment longtemps, quels que soient les matériaux de construction employés, pour garantir la survie des occupants. Des progrès considérables ont été accomplis dans le domaine du génie parasismique qui permettent aux structures de mieux encaisser les effets cumulés des forces sismiques combinant les accélérations verticales et horizontales. Ces progrès ont donné lieu à l'établissement de normes qui sont applicables principalement aux matériaux et aux structures contemporaines édifiées en béton armé et/ou en acier. Dans l'ensemble du monde habité, l'activité sismique qui résulte principalement des mouvements de la croûte terrestre - ce que l'on nomme la tectonique des plaques - est toujours très importante dans beaucoup de régions où existe encore une architecture traditionnelle valorisant les cultures constructives de la terre crue. C'est le cas sur l'ensemble du littoral américain de l'océan Pacifique, du nord au sud, à la confluence de la plaque du Pacifique, de la plaque nord-américaine, de la plaque caraïbe, de la plaque des Cocos, de la plaque Nazca et de la plaque sud-américaine. C'est aussi le cas dans l'ensemble du bassin méditerranéen, au carrefour de la plaque eurasiennne, arabique et africaine ou encore en Asie, à la rencontre de la plaque eurasiennne, indienne et des Philippines.

Les constructions traditionnelles en terre demeurent très exposées au risque sismique et en cas de grave séisme, elles sont immédiatement pointées du doigt, incriminées de la mort des hommes. Pourtant, à y regarder de plus près, force est-on de constater que ce n'est pas à proprement parler le matériau terre qui doit être incriminé mais les déficiences du savoir bien construire. En effet, dans beaucoup de situations de graves séismes, peu de structures résistent, qu'elles soient en béton, en acier, en pierre, en terre, lorsqu'elles sont mal construites. Les dégâts sont souvent l'effet de la perversion des cultures constructives, de la corruption économique mais aussi de l'absence de « mémoire » populaire du risque sismique. Car il existe véritablement une culture constructive en terre parasismique comme en témoignent beaucoup de traditions populaires dans les régions les plus exposées à ce risque majeur. Cette culture propose un ensemble de solutions qui connaissent de multiples variantes locales confirmant que les bâtisseurs traditionnels en terre ont depuis longtemps intégré le risque sismique dans leurs pratiques, imaginant de solutions ingénieuses efficaces. Mais, la perte de savoir-faire qui résulte des mutations souvent radicales des cultures constructives, depuis l'avènement de la modernité et de l'ère industrielle, a souvent éclipsé cette intelligence constructive « parasismique ».

Alors que dans ces nombreuses régions exposées au risque sismique, une grande part de la population mondiale ne peut pas encore accéder aux matériaux et aux solutions constructives actuelles que propose le génie antisismique contemporain, trop coûteuses, alors que la conservation des patrimoines architecturaux en terre, monumentaux et vernaculaires, s'impose comme un enjeu culturel et économique international, le rétablissement des savoir-faire de ces cultures constructives en traditionnelles, douées d'une capacité de réponse au risque sismique, devient un défi que notre monde contemporain se doit de relever.

3.2. - Brève évocation de l'état du savoir et des pratiques

La littérature scientifique et technique qui couvre le champ des recherches et expérimentations dans le domaine de l'architecture de terre et du risque sismique, est de plus en plus conséquente. Elle résulte de près de 50 ans d'activité déployée dans ce domaine, notamment dans les pays les plus exposés tels que les pays d'Amérique (du nord et latine), en Turquie ou dans les pays d'Asie centrale. Cette littérature concerne des recherches relatives à la détérioration sismique (pathologies) et aux interventions de génie sismique rétroactif, dans trois catégories principales d'activités qui sont :

1. Les observations de terrain, avec :

- l'observation des types de dégâts causés aux structures en maçonnerie traditionnelle de terre non renforcées ;
- l'observation des performances des structures en terre renforcées ;
- l'observation des performances basées sur la « culture sismique ».

2. Les tests, avec :

- L'étude des paramètres de construction en fonction de la performance ;
- Le développement d'interventions sismiques spécifiques.

3. Des procédés analytiques permettant :

- L'analyse des types de dégâts/effondrements des maçonneries traditionnelles de terre non renforcées ;
- L'analyse des interventions sismiques spécifiques ;
- Le calcul prévisionnel de la performance.

Nous dressons par la suite un bref état de la situation dans chacune des catégories d'activités de recherche.

3.2.1. - . Les observations de terrain

Les observations *in situ* des dégâts sismiques causés aux architectures de terre font souvent partie d'un plus large effort d'inventaire des dégâts causés à tous types de structures édifiées par l'homme, comme des phénomènes géologiques. Ces observations ont donné des informations sur les performances des structures en maçonnerie traditionnelles, notamment dans le contexte turc, dans les années 1990. Parfois d'autres études plus poussées ont porté sur des patrimoines architecturaux en terre très spécifiques comme cela a été le cas en Californie, après le séisme de Northridge (janvier 1994). De même des interventions de consolidation post-séisme ont pu être évaluées comme c'est également le cas dans ce même contexte californien.

Ces observations ont parfois été corroborées par des tests réalisés en laboratoire, sur modèles construits soumis à des secousses sismiques simulées sur tables vibrantes. D'autres études ont aussi montré qu'il existe une véritable culture sismique, comme nous l'avons précédemment relevé, qui influence directement la conception structurale et

architecturale. Des chercheurs ont également effectué des études historiques sur l'évolution de la maçonnerie renforcée en contexte sismique comme c'est le cas de Tobriner (1984) couvrant la période allant de 1755 à 1907. Cette étude présente notamment un système qui a été mis au point par des ingénieurs après le terrible séisme de Lisbonne au Portugal, en 1755. Il s'agit d'un système de structure intérieure en cage de bois dénommé « *gaiola* » ou système du Marquis de Pombale qui fut à l'origine de la reconstruction de la ville totalement détruite. Un système similaire a été identifié en Italie, en 1783, dénommé la « *casa baraccata* ». En Angleterre, en 1825, des solutions de renfort extérieurs de murs en briques cuites, en bandes d'acier (comme les cerceaux d'un tonneau), ont été repérés et ce même principe a été largement développé en Italie après plusieurs séismes, au-delà des années 1850. Les solutions de renforcement en fers à béton ou autres composants en acier (nappes treillis), noyées dans l'épaisseur des joints de mortier des maçonneries ont été expérimentées aux Etats-Unis, après des séismes successifs à San Francisco (1865 et 1868) et après celui, très dévastateur de 1906. Elles ont été plus généralement appliquées après les séismes de Santa Barbara (1925) et de Long Beach (1933).

3.2.1.- Les tests

Tester en laboratoire des spécimens de murs ou des modèles de bâtiments à échelle réduite, est un moyen qui a favorisé l'innovation dans le domaine de la construction parasismique. Ces tests ont également permis de mieux connaître le comportement des structures en maçonnerie traditionnelle non renforcée. Ainsi, en Turquie, des tests ont été effectués sur des murs en briques de terre crue modélisant une boîte quadrangulaire soumise à une compression constante dans le plan du mur et normale aux joints horizontaux de mortier. Cette même structure a été aussi soumise à des efforts croissants simulant une compression et un cisaillement en diagonal. Au Pérou, l'Université catholique de Lima, qui héberge de grands spécialistes de cette question du génie parasismique pour les constructions en terre, a aussi réalisé des tests de résistance aux efforts appliqués en diagonale sur des murs en pisé, mettant en corrélation les paramètres de construction, la performance et le développement d'interventions sismiques spécifiques. D'autres programmes de recherche ont fourni un grand apport de connaissance sur le comportement des structures en terre durant les séismes. Ils ont aussi permis l'élaboration de solutions visant à réduire considérablement les effets des dommages leur étant causés. Ces expériences ont notamment valorisé l'importance du rôle des chaînages en béton armé ou en bois en couronnement des murs, du confinement extérieur et intérieurs des maçonneries par des mailles grillagées, du rôle de barres rigides reliant des murs opposés dans leurs parties hautes. Ces études ont montré que la solution la plus efficace est celle du confinement extérieur et intérieur des murs d'adobe par des grillages.

Toujours à l'Université catholique de Lima (Pérou), plusieurs facteurs influençant la résistance des maçonneries en briques de terre crue, ont été identifiés. Ce sont :

- les propriétés des sols utilisés pour produire les adobes ;
- le mode de séchage des briques crues et notamment la fissuration de retrait ;
- l'effet d'une stabilisation des briques à la chaux ou au ciment et d'un agent dispersant comme le carbonate de sodium ;
- le mode de construction.

Suivant ces études, des tests de résistance de 9 modèles de bâtiments de type rural en R+1, en taille réelle ont été développés sur une table sismique.

Ces tests qui ont été principalement conduits sur le continent américain (nord et sud), dans les années 1970 à 1990, ont été aussi développés en Europe, notamment en ex Yougoslavie (actuellement en Slovénie). Ils ont porté sur les effets des renforcements horizontaux et de la résistance du mortier, sur la résistance et sur la ductilité de 16 modèles de murs-spécimens en maçonnerie à échelle réduite. Ces murs ont été soumis à des efforts constants en compression et latéraux. Cette recherche a montré que la ductilité d'un mur en maçonnerie peut être améliorée en augmentant la quantité des renforts horizontaux. Mais à un certain point, l'efficacité de ces renforts est inversement proportionnelle au rapport de renforcement.

La Commission Européenne a financé en Italie (à l'ISMES de Bergamo) et en Grèce (au LEE d'Athènes), en 1998 et 1999, des recherches et des programmes de tests sur les maçonneries en pierre et en brique qui sont particulièrement utiles pour les architectures de terre. 14 modèles réduits (échelle 1/2) de bâtiments en brique et en pierre de deux niveaux, certains d'entre eux ayant fait l'objet de réparations préalables (intervention post sismique simulée), d'autres ayant été renforcés par divers procédés, ont fait l'objet de 119 tests sur des tables sismiques vibrantes. L'efficacité de diverses méthodes d'intervention post-sismique a été aussi testée. Cette recherche a montré qu'une augmentation significative de la résistance latérale peut être obtenue par des techniques aussi simples que le rebouchage des fissures et l'application de renforcements horizontaux.

Un autre programme de la Commission Européenne, dénommé ISTECH, a mis l'accent sur le développement de techniques de mitigation sismique pour la restauration d'ouvrages du patrimoine culturel et notamment des structures en maçonnerie affectées par les séismes. L'une des techniques les plus innovantes qui a été développées consiste à employer des éléments de connexion en matériau élastique. Ce procédé est connu sous le nom de procédé à mémoire de forme pouvant être employé pour pré-comprimer les maçonneries. Les tests ont montré que les structures qui en sont dotées ne présente aucun dégât et le procédé a été ensuite appliqué sur divers ouvrages patrimoniaux d'Italie, notamment sur le clocher de San Giorgio de l'Eglise Trigano à San Martino qui avait été endommagé par le séisme de Reggio (Emilie) de 1996. Il a également été utilisé pour la reconstruction du tympan du transept de la Basilique de Saint François d'Assises sérieusement endommagé par le séisme de septembre 1997.

3.2.3.- Procédés analytiques

Des outils analytiques ont été utilisés à l'occasion de la plupart des recherches et des programmes de test sur des modèles construits en terre ou des composants. Parmi les méthodes les plus innovantes, deux, développées en Italie (Casolo et al. 2000 ; Azevedo et al. 2000) méritent d'être relevées qui permettent de déterminer les typologies d'effondrement des structures en maçonneries de pierre. La première recherche a développé des analyses numériques sur modèles simplifiés permettant de prédire et d'évaluer le comportement sismique hors du plan des murs en maçonnerie (façades d'une église) en situations variées de géométrie, de résistance des matériaux, de comportement matériel post-élastique, et de caractéristiques d'excitation. Dans la plupart des cas, l'action sismique exercée sur les façades semble les diviser en des blocs rigides qui sont connectés entre eux par des zones hautement dégradées qui révèlent des typologies de fracture simples et récurrentes. La deuxième recherche a utilisé une technique d'analyse en « méthode d'élément discret » qui s'inscrit dans la classification générale des techniques d'analyse discontinue visant à analyser le comportement sismique des structures en maçonnerie. La méthode permet de reproduire le phénomène d'ouverture des fissures et de glissement des joints, simulant un dommage progressif associé à la propagation des fissures et à des déplacements et rotations entre les blocs de maçonnerie. La méthode peut aussi intégrer des schémas de renforcement comme des câbles horizontaux et verticaux reliant différents blocs. Elle a été appliquée pour évaluer les typologies de dommages de différents éléments de structures soumis à l'action de leur propre poids et d'une action sismique, comme des structures en arcs et colonnes puis à des modèles structuraux plus complexes comme des clocher et des aqueducs.

3.3. La typologie des solutions constructives parasismiques en terre

Ce sont souvent des dispositions constructives simples mais efficaces qui garantissent une bonne résistance des constructions en terre au risque sismique. Parmi celles-ci, relevons :

- la morphologie des plans et des structures, avec l'absence de configurations en « L », en « T » ou en « U », au profit de la juxtaposition de modules carrés ou rectangulaires séparés et reliés fonctionnellement par des espaces de transition (halls, couloirs et galeries) ;
- la recherche de davantage de stabilité par la masse de murs plus épais en rez-de-chaussée ou rez-de-de jardin (rapport d'élancement entre l'épaisseur et la hauteur des murs se situant à une valeur inférieure à 5 et même plus favorablement égale ou inférieure à 3,5 ; les ratios supérieurs à 5 correspondent à des murs moins épais et susceptibles de se déverser), avec des contreforts aux angles, capables de mieux encaisser les mouvements verticaux, rehaussé par des étages en ossatures bois, tels que colombages, plus ductiles (capables de lieux encaisser les mouvements horizontaux) ;
- l'intégration de chaînages, souvent en bois par tradition, intégrés en partie basse, intermédiaire et haute des murs. Certaines cultures régionales ont même imaginé des solutions d'appui de poutres chaînages sur des rondins posés transversalement, dans le sens de l'épaisseur du mur, qui permettent d'encaisser les mouvements horizontaux ; c'est le cas en Ouzbékistan ;
- l'inclusion dans l'épaisseur des murs de terre de renforts horizontaux (en nappes de chevrons ou de baguettes intégrés dans l'épaisseur des joints de mortiers), et verticaux, souvent en bois ou en bambous et roseaux ; ce procédé est couramment utilisé dans plusieurs cultures constructives d'Amérique latine, au Pérou, au Chili, au Salvador, au Costa Rica.
- l'allègement de la densité des matériaux dans les parties hautes des murs par l'emploi de briques de terre crues allégées (plus riches en fibres), ou par la mise en œuvre de panneaux préfabriqués en ossature bois, hourdés de torchis, de terre-paille ou de bauge allégée ; cette disposition améliore aussi la ductilité et la réaction à l'effet de mouvement pendulaire des murs sous l'effet des secousses sismiques, en leur partie haute.
- la réduction des charges propres des planchers (systèmes en bois plutôt que dalles), avec des systèmes de diaphragmes ou semi-diaphragmes qui tout en assurant une bonne rigidité permettant un mouvement horizontal sans écroulement.

- l'allègement des toitures (charpentes et matériaux de couverture) qui demeure une question majeure, particulièrement dans le cas de toitures plates en terre sur poutres en bois, allourdies au fil du temps par des réfections successives par ajout de terre et d'enduits ;
- des solutions d'enduits extérieurs « armés » par des mailles textiles (toile de jute) plus récemment remplacées par des grillages galvanisés résistant à la corrosion ou encore plus récemment par des mailles en polymères, voire par des habillages en géopolymères (bidim et similaire).
- des solutions de câbles horizontaux et verticaux, ou de bandes de caoutchouc ou de polymère repérées sous le vocable anglophone de *strapping*, noyés dans les enduits extérieurs, contribuant à un confinement des structures.

La fragilité des systèmes constructifs mixtes

Rappelons, d'une manière générale que la construction en matériaux mixtes présente davantage de faiblesse au risque sismique. C'est le cas des structures en briques cuites et briques crues et surtout le cas de systèmes en ossatures acier ou béton qui sont hourdées de matériaux de terre crue. Un problème particulièrement important concernant les ossatures en béton armé est le danger majeur qui provient de leur mise en résonance lors de l'encaissement des secousses. Ainsi, tout type de structures qui valorisent les solutions avec des portiques ou des piliers et colonnes en béton armé, au premier niveau des édifices, sont particulièrement à proscrire.

De même, pour ce qui concerne les interventions de restauration des bâtiments en terre traditionnels, l'introduction de réparations ou d'éléments de restauration/reconstruction partielle en béton, doit être proscrite. La question de la compatibilité des matériaux, face au risque sismique est essentielle. Pour ce qui est de la construction en maçonnerie de petits éléments, mieux vaut également utiliser un mortier de pose qui soit plus ductile – et donc peu rigide –, soit des mortiers de terre argilo-sableuse ou de terre stabilisée à la chaux, par exemple.

3.4. - Brève conclusion

En l'état actuel des connaissances, pour ce qui concerne la détérioration sismique et les pathologies des architectures de terre, les recherches ayant identifié les typologies de dommage sismique et les ayant relié aux causes et à l'intensité du mouvement du sol (analyses de vulnérabilité), constituent un outil important pour développer des moyens efficaces de mitigation sismique. Bien que les matériaux de construction qui sont discutés dans la littérature scientifique diffèrent encore souvent des matériaux de construction en terre, s'agissant plutôt de la pierre ou de la brique cuite), leur performance sismique est souvent très proche. Ainsi, ces recherches sont en général très utiles pour mieux connaître le comportement sismique des constructions en terre, leur typologie de détérioration et leurs pathologies.

Récemment, à la suite de violents séismes qui se sont produits au début de ce 21^{ème} siècle, en Iran (Bam, décembre 2003), au Maroc (Al-Hoceima, 2004) qui ont affecté un patrimoine culturel et d'habitat vernaculaire en terre, ces recherches ont été de nouveau réactivées en réunissant les meilleurs spécialistes internationaux de ces questions. Des avancées significatives sont attendues de ces nouvelles mobilisations, notamment dans le domaine de la préparation de recommandations pour la construction en matériaux traditionnels dans les régions à risque sismique. Ces recommandations devront notamment considérer l'importance des réponses qui ont été apportées par les bâtisseurs en terre valorisant leurs « cultures constructives locales du risque ». Car l'application de la « norme », telle qu'elle est aujourd'hui pensée et édictée, au niveau international, pourraient présenter un autre risque majeur, un « métarisque », celui de l'évacuation des cultures constructives, de l'héritage des bâtisseurs et de ses valeurs, de la diversité culturelle. Nous aurions alors atteint ce point de non retour d'une transculturation constructive et architecturale, effet pervers de la globalisation planétaire imposant un appauvrissement dramatique de la culture humaine.

Bibliographie :

- Azevedo et al. 2000:** AZEVEDO, J., SINCRANIAN, G., LEMOS, J.V. – In *Earthquake Spectra*, Volume 16, N°2, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), National Science Foundation. Washington, U.S.A., May 2000.
- Bariola et al. 1988 :** BARIOLA, J., VARGAS NEUMAN, J., TORREALVA, D., OTTAZI, G. – *Earthquake resistant provisions for adobe construction in Peru*, in *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo, Japon, Août 1988.
- Carazas-Aedo 2002:** CARAZAS-AEDO, Wilfredo – *Guide de construction parasismique*. Adobe, éditions CRATerre-EAG, Villefontaine, 2002.

- Carazas-Aedo 2002:** CARAZAS-AEDO, Wilfredo – *Guide de construction parasismique. Réhabilitation*, éditions CRATerre-EAG, Villefontaine, 2002.
- Carazas-Aedo 2002:** CARAZAS-AEDO, Wilfredo – *Guide de construction parasismique. Torchis*, éditions CRATerre-EAG, Villefontaine, 2002.
- CRATerre 1979 :** DOAT, P., HAYES, A., HOUBEN, H., MATUK, S., VITOUX, F. – *Construire en terre*. Editions Alternatives et Parallèles. Paris. France. 1979 (réactualisé en 1983 et 1985).
- CRATerre 1982 :** BELMANS D., DAYRE M., DOAT P., GUILLAUD, H., HOUBEN, H. - *Recommandations pour la conception des bâtiments du quartier en terre de l'Isle d'Abeau*. Edition AGRA-EAG, Grenoble. France. Plan Construction Paris. France. 1982. 191 pages.
- CRATerre 1983 :** DOAT, P., HOUBEN, H., GUILLAUD, H. et GAITerre (Marrakech, Maroc) - *Marrakech 83, Habitat en Terre*. Rexcoop ; Editions AGRA-EAG. Grenoble. France. 1983. 232 p.
- CRATerre-EAG 1993 :** GUILLAUD, H., ODUL, P., JOFFROY, Th. - *Blocs de terre comprimée : conception et construction*. Editions GATE/GTZ (coopération allmemande). Eschborn. Allemagne. 1993. 155 p.
- CRATerre-EAG et ICCROM 1993 :** ODUL, P. – *Bibliographie sur la préservation, la restauration et la réhabilitation des architectures de terre*. Editions CRATerre. Grenoble. France. 1993. 136 p.
- CRATerre-EAG 1994 :** GUILLAUD, H. , JOFFROY, Th. – *Éléments de base sur la construction en arcs, voûtes et coupoles*. Edition du SKAT (Coopération suisse). Saint Gallen. Suisse. 1994. 27 p.
- CRATerre-EAG 2004 :** GUILLAUD, Hubert (dir. scient.), CARAZAS-AEDO, Wilfredo, DUPONT DE DINECHIN, Matthieu, GANDREAU, David, HAJMIRBABA, Majid – *Earthquake resistant earthen construction ; a reference bibliography*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, novembre 2004, 65 p.
- Crosby 1999 :** CROSBY, Anthony – *Earthquakes and adobes : effects and systems for intervention*. In Cultural resource management: conserving earthen architecture, 22, N°6, Ed. Getty Conservation Institute. Los Angeles, U.S.A., 1999.
- Dethier 1986 :** DETHIER, J. - *Des architectures de Terre, ou l'avenir d'une tradition millénaire*. Editions du Centre Georges Pompidou. Paris. France. 1986, 224 p.
- Dowling 2004 :** DOWLING, D. – *Adobe housing reconstruction after the 2001 El Salvador Earthquake*. In *Lessons learned over time*, Volume V, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), National Science Foundation. Washington, U.S.A., 2004.
- Ginell et al. 2000:** GINELL, William S., LEROY TOLLES, E.L., GAVRILOVIC, P., SENDOVA, V. – *Seismic shaking table tests of retrofits for large-scale models adobe structures*. In Terra 2000: 8th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture. Torquay. Ed. English Heritage. Londres, Royaume-Uni, May 2000.
- Houben et Guillaud 1989 :** HOUBEN, H., GUILLAUD, H. – *Traité de construction en terre*. Editions Parenthèses. Marseille. France. 1989. 355 p.
- Jeannet et al. (Pisé Terre d'Avenir) 1986 :** JEANNET, J., POLLET, G., SCARATO, P. - *Le pisé, patrimoine, restauration, technique d'avenir, matériaux, techniques et tours de mains*. Editions Créer. Nonette. France. 1986, 107 p.
- Jeannet et al. (Pisé Terre d'Avenir) 1998 :** JEANNET, J., PIGNAL, B., SCARATO, P. – *Bâtir en pisé : technique, conception, réalisation* (cahier technique n° 3). Edition Pisé Terre d'avenir, Saint Laurent de Chamousset. France. 1998. 51 p.
- Leroy Tolles et al. 2000 :** LEROY TOLLES, E.L., KIMBRO, Edna E., WEBSTER, Frederick A., GINELL, William, S. - *Seismic stabilization of historic adobe structures. Final report of the Getty Seismic Adobe Project (GSAP)*. In CGI Scientific Program Reports. Ed. The Getty Conservation Institute. Los Angeles, U.S.A., 2000.
- Minke 2001 :** MINKE, Gernot – *Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth*, éditions Gate-Basin, Eschborn, Allemagne, 2001.
- Norsa 1981:** NORSA, Aldo – *Lessons from recent earthquakes in southern Italy and observations about the performance of buildings of traditional construction in these events*. In *Earthen buildings in seismic areas*. Proceedings of the international workshop held at the university of New Mexico, Albuquerque, May 24 - 28 1981, National Science Foundation, Washington, U.S.A., 1981, pp. 285-292.
- Odul 1990:** ODUL, Pascal - *Humidity Pathology of Earth Construction : Methodology for Diagnosis, Recommendations and Intervention Techniques*, Communication scientifique, 6th International Conférence on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, New Mexico, USA, Octobre 1990, in Adobe 90 Preprints, Editions du Getty Conservation Institute - Museum of New Mexico State Monuments, ICCROM, CRATerre-EAG et National Park Service, Southwest Region, Los Angeles, 1990, 469 p., pp. 404-413.
- Odul et al 1986 :** ODUL, Pascal et GUILLAUD, Hubert (Direction Scientifique), DOAT, Patrice, HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric - *Approche Scientifique et Technique du Matériau Terre, Dispositions Constructives et leurs Modes de Mise en Oeuvre*, Editions CRATerre, Villefontaine, avril 1986, 304 p., pp. 147-269.

Oliver 1981 : OLIVER, Paul – *The cultural context of earthen housing in seismic areas*. In Proceedings of the international workshop held at the University of New Mexico, Albuquerque, May 24 – 28 1981. National science Foundation. Washington, U.S.A., 1981.

Ramirez 1992 : RAMIREZ, Beatriz Helena - *La Pathologie des anciennes constructions en terre, diagnostic*, mémoire de Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture de terre, CEAA-Terre CRATerre-EAG 1987-89, sous la direction de GUILLAUD, Hubert, mars 1992, 76 p.

Schroeder et al. 2003 : SCHROEDER, Horst, SCHWARZ, TULAGANOV – *Traditional earthen architecture in Uzbekistan – evaluation of earthquake resistance and strategy for improvement*. In Preprints of the 9th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture. Yazd, Iran, 29 Nov – 2 Dec. 2003. Ed. Iranian Cultural Heritage Organisation and Research Centre for the Conservation of Cultural Relics. Téhéran, Iran, 2003

Vargas Neuman 1981 : VARGAS NEUMAN, Julio - *Earthen buildings in seismic areas*, in *Earthen buildings in seismic areas*. Proceedings of the international workshop held at the university of New Mexico, Albuquerque, May 24 - 28. National Science Foundation, Washington, 1981, pp. 457-502.

Vargas Neuman 1993 : VARGAS NEUMAN, Julio – *Earthquake-resistant rammed-earth (tapial) buildings*, in *Proceedings of the 7th International Conference on the Study of the Conservation of Earthen Architecture*, Terra 93, Portugal, Octobre 1993, p. 503-508.

Webster 2003: WEBSTER, Frederick A. – *Research related to seismic deterioration/pathology of Earthen Architecture and Seismic Intervention in Earthen Architecture*. Ed. Project TERRA (CRATerre-EAG/ICCROM/GCI), Los Angeles, U.S.A., 2003.

