



HAL
open science

Technologie de construction et architecture de terre. Proposition de directions prioritaires de recherche pour la République de Corée: Rapport final (Volume 1/2)

Hubert Guillaud, Patrice Doat, Pascal Rollet, Hugo Houben, Philippe Garnier, Laetitia Fontaine, Romain Anger, Thierry Joffroy, Sébastien Moriset, David Gandreau, et al.

► To cite this version:

Hubert Guillaud, Patrice Doat, Pascal Rollet, Hugo Houben, Philippe Garnier, et al.. Technologie de construction et architecture de terre. Proposition de directions prioritaires de recherche pour la République de Corée: Rapport final (Volume 1/2): Analyse de l'état de l'art au niveau international et national et Proposition de directions prioritaires de recherche. [Rapport de recherche] CRAterre; Université Nationale de Mokpo; Chaire UNESCO Architecture de terre cultures constructives et développement durable. 2008, pp.99. hal-03716122

HAL Id: hal-03716122

<https://hal.science/hal-03716122>

Submitted on 7 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Technologie de construction et architecture en terre

Proposition de directions prioritaires de recherche pour la République de Corée



Chaire UNESCO Architecture de terre
cultures constructives et développement durable

Rapport final

(Volume 1 / 2)

Analyse de l'état de l'art au niveau international et national et Proposition de directions prioritaires de recherche

Prof. arch. Hubert GUILLAUD

Directeur scientifique du CRATERRE-ENSAG
Centre International de la Construction en Terre, Grenoble, France

Avec des contributions de:

Prof. arch. Patrice Doat, Prof. arch. Pascal Rollet, Ing. Hugo Houben, Arch. Philippe Garnier,
Ing. Laetitia Fontaine, Ing. Romain Anger, Arch. Thierry Joffroy, Arch. Sébastien Moriset,
Archéologue David Gandreau, Ing. Olivier Moles

Et du Département d'Architecture de l'Université Nationale de Mokpo (DOA-MNU)

Prof. arch. Taehoon Kim, Prof. arch. Heyzoo Hwang, Ing. Minchol Cho,
arch. Soon-Wung Kim and Ing Nami-Kang

Avec l'appui de :

Mme Titane Galer, responsable du Centre de documentation du CRATERRE-ENSAG

Décembre 2008

SOMMAIRE

1 – Présentation introductive du rapport final.....	p. 5
▪ 1.1. – <i>Partenariat de la recherche</i>	p. 5
▪ 1.2. – <i>Equipe de recherche : composition</i>	p. 5
▪ 1.3. – <i>Principal objectif de la recherche</i>	p. 6
▪ 1.4. – <i>Domaine d'étude couvert par la recherche</i>	p. 6
▪ 1.5. – <i>Méthodologie de la recherche</i>	p. 7
2 – La situation internationale: synthèse de l'état de l'art et des pratiques	p. 9
▪ 2.1. – <i>Le contexte international et l'impact des Etats-Unis d'Amérique</i>	p. 9
▪ 2.2. – <i>L'engagement français et européen</i>	p. 9
▪ 2.3. – <i>Synthèse des recherches sur les techniques de construction en terre</i>	p. 11
▪ 2.4. – <i>Le nombre croissant de rencontres, conférences et colloques spécialisés dans le monde</i>	p. 18
▪ 2.5. – <i>Bref rappel de situation sur la normalisation de la construction en terre</i>	p. 22
▪ 2.6. – <i>Le renouveau mondial de l'architecture de terre</i>	p. 30
3 – La situation des architectures de terre en République de Corée.....	p. 33
▪ 3.1. – <i>Nos sources d'information</i>	p. 33
▪ 3.2. – <i>Brève synthèse sur le contexte coréen</i>	p. 34
▪ 3.3. – <i>Analyse du potentiel actuel de la construction en terre dans le contexte coréen : les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces</i>	p. 43
4 – Synthèse de l'état de l'art et orientation pour la recherche en Corée	p. 49
▪ 4.1. – <i>Chapitre 1 : L'utilisation de la terre</i>	p. 49
▪ 4.2. – <i>Chapitre 2 : La terre pour construire</i>	p. 52
▪ 4.3. – <i>Chapitre 3 : Les matériaux et les techniques de construction en terre</i>	p. 55
▪ 4.4. – <i>Chapitre 4 : La stabilisation</i>	p. 61
▪ 4.5. – <i>Chapitre 5: Les éléments de construction et l'architecture</i>	p. 64
▪ 4.6. – <i>Chapitre 6 : La protection de surface, les arts plastiques et la décoration</i>	p. 69
▪ 4.7. : <i>Chapitre 7 : La conservation du patrimoine architectural en terre</i>	p. 71
5 – Evaluation des priorités.....	p. 77
▪ 5.1. – <i>Mode d'évaluation et classement des priorités</i>	p. 77
▪ 5.2. – <i>Corpus des voies de la recherche terre pour la Corée (cf. vol. 2/2)</i>	p. 78
6 – Bibliographie sélective des références exploitées	p. 79
▪ 6.1. – <i>Conférences internationales, colloques et séminaires régionaux récents</i>	p. 79
▪ 6.2. – <i>Histoire des architectures de terre et des cultures constructives</i>	p. 79
▪ 6.3. – <i>Construction et architecture de terre en Europe : état au prisme d'apports scientifiques récents</i>	p. 80
▪ 6.4. – <i>La technologie de construction en terre : matériaux, construction et architecture, écologie</i>	p. 80
▪ 6.5. – <i>Conservation des architectures de terre</i>	p. 84
▪ 6.6. – <i>Normes et standards, recommandations</i>	p. 92

Les voies de la recherche terre pour la République de Corée

Rapport final

Vol. 1 / 2

Laboratoire CRATerre-ENSAG

Centre International de la Construction en Terre
Chaire UNESCO Architecture de terre, cultures constructives et développement durable
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France

Décembre 2008

1 - Présentation introductive du rapport final

1.1. - *Partenariat de la recherche*

Cette étude fait l'objet d'un contrat avec :

- l'Institut National de Recherche pour le Patrimoine Culturel de la Corée (NRICH).

Elle a été mutuellement contractée entre :

- le Département de Coopération Académique et Industrielle de l'Université MOKPO de Corée (MNU/IAC) ;
- le Centre International de la Construction en Terre de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (CRATerre-ENSAG), en France.

1.2. – *Equipe de recherche : composition*

Pour l'équipe française de l'ENSAG :

Direction de la recherche et supervision de la rédaction :

- Professeur Hubert Guillaud, architecte, directeur scientifique du laboratoire CRATerre-ENSAG

Autres chercheurs au laboratoire CRATerre-ENSAG :

- Patrice Doat, professeur, architecte ;
- Hugo Houben, ingénieur, chercheur ;
- Thierry Joffroy, architecte, chercheur ;
- Philippe Garnier, architecte, enseignant associé ;
- Sébastien Moriset, architecte ;
- Laetitia Fontaine, ingénieur, chercheur doctorant ;
- Romain Anger, ingénieur, chercheur doctorant ;

- Olivier Moles, ingénieur ;
- David Gandreau, archéologue.

Chercheur au Laboratoire Cultures constructives de l'ENSAG :

- Pascal Rollet, professeur, architecte, chercheur.

Pour le DOA/MNU et l'équipe Architecture Community of Terra (ACT)

Direction de la recherche :

- Heyzoo Hwang, professeur, architecte

Autres chercheurs de l'équipe ACT :

- Taehoon KIM, professeur, architecte ;
- Minchol Cho ; ingénieur ;
- Soon-Wung Kim, architecte,
- Nami-Kang, ingénieur.

1.3. – Principal objectif de la recherche

Le principal objectif de cette recherche vise à :

- apporter un appui dans le domaine de la construction et de l'architecture en terre pour le développement futur de la recherche scientifique fondamentale et appliquée (en construction et architecture), en République de Corée.
- cet appui est apporté au Département d'Architecture de l'Université MOKPO de Corée (DOA/MNU), et à l'Institut de la Construction en terre de Corée (EIK), qui ont engagé le développement d'activités scientifiques et technologiques au cours de ces dix dernières années et qui souhaitent mieux définir leurs directions de travail pour l'avenir.

Pour cela, il a été prévu :

- de réaliser une synthèse actualisée de l'état de l'art de la construction et de l'architecture de terre, au niveau international et en Corée ;
- d'identifier des voies de la recherche urgentes ou très importantes ;
- de définir mutuellement, avec les partenaires, les voies de la recherche terre à développer en Corée ou en lien avec des actions de coopération internationale.

1.4. - Domaine d'étude couvert par la recherche

La recherche couvre 7 chapitres qui structurent la synthèse sur l'état de l'art et de la recherche en construction et architecture en terre. Ce sont :

- Chapitre 1 : L'utilisation de la terre ;
- Chapitre 2 : La terre pour construire ;
- Chapitre 3 : Les matériaux et les techniques de construction en terre ;
- Chapitre 4 : La stabilisation ;
- Chapitre 5 : Les éléments de construction et l'architecture ;
- Chapitre 6 : La protection de surface, les arts plastiques et la décoration ;
- Chapitre 7 : La conservation du patrimoine architectural en terre.

C'est à partir de cette synthèse et d'un travail plus spécifique d'analyse de la situation actuelle de développement de la construction et de l'architecture en terre, en République de Corée qu'est identifié un ensemble de voies de recherche pour le futur. Dans cet ensemble, une évaluation du niveau de priorité et un classement sont établis pour le contexte spécifique de la Corée afin de permettre un engagement concret des futures directions et mobilisations de travail au niveau national.

1.5. – Méthodologie de la recherche

La synthèse de l'état de l'art et de la recherche que nous proposons, est dressée à partir d'une révision générale de la littérature scientifique issue d'un ensemble de manifestations internationales (actes de conférences et colloques), d'articles scientifiques, et d'une bibliographie sélective de littérature technique et architecturale (livres d'auteurs proposant diverses synthèses couvrant le domaine d'étude) qui ont été produits au cours de ces dernières années. Le périmètre scientifique des références exploitées par cette recherche, dans plusieurs champs disciplinaires, est aussi cerné à partir d'une veille permanente que mène le laboratoire CRATerre-ENSAG sur les évolutions de la construction et des architectures de terre dans le monde. Ainsi, les informations exploitées, issues de cette veille scientifique et technique, et du corpus de littérature qui a été révisé sont représentatives de l'état de l'art et des tendances d'évolution de la recherche et des applications récentes dans le domaine d'étude.

Cette synthèse au niveau international permet de dégager un ensemble de sujets de recherche qui, jusqu'à ce jour, ont fait l'objet d'investigations limitées ou insuffisantes, ou qui n'ont pas été encore explorées. Ainsi, un peu plus d'une cinquantaine de directions de recherche, d'études ou activités, rapportés aux 7 chapitres structurant la synthèse de l'état de l'art, est identifiée. Ces directions de recherche présentent un fort potentiel d'intérêt scientifique et d'exploration pour la communauté scientifique internationale travaillant dans le domaine d'étude et d'application depuis la fin du XX^{ème} siècle (des années 1990 à nos jours). Ces directions sont en mesure de réorienter les activités dans le domaine en fondant des priorités vis-à-vis des grandes problématiques actuelles qu'affronte la planète, notamment en matière de mise en œuvre immédiate du développement durable, au carrefour des problématiques humaines et sociales, environnementales, économiques et culturelles.

L'ensemble des directions de recherche identifiées à partir de la synthèse de l'état de l'art international est ensuite confronté à la situation du contexte coréen qui a engagé un développement significatif d'activités dans le domaine au cours de ces 10 dernières années. Pour cela nous exploitons un bilan d'activités qui nous a été présenté par nos collègues coréens, et sur les résultats d'un atelier de travail conjoint qui a été réalisé lors d'un séminaire prévu à l'agenda de cette recherche, qui s'est tenu en date du 7 octobre 2008, à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, dans les bureaux du Laboratoire CRATerre-ENSAG¹. Cet atelier a permis de mieux cerner les forces et les faiblesses de la construction en terre en Corée, les opportunités de développement qui se présentent et les menaces auxquelles la

¹ Ce séminaire intermédiaire et cet atelier de travail a réuni une partie des chercheurs du laboratoire CRATerre-ENSAG impliqués dans cette recherche (Professeurs Hubert Guillaud et Patrice Doat, Ingénieurs Hugo Houben, Laetitia Fontaine et Romain Anger, architecte Philippe Garnier), et une partie de l'équipe coréenne (Professeur Heyzoo Hwang, Ingénieurs Minchol Cho et Nami-Nang, architecte Soon-Wung Kim).

construction en terre est exposée². A partir de cette première évaluation et d'informations complémentaires qui nous ont été envoyées par les partenaires coréens, visant à compléter cette première évaluation du contexte et à mieux apprécier leurs besoins, nous avons été en mesure de mieux analyser les attentes et les besoins et de mieux cerner les tendances de la recherche terre à développer dans le pays pour les prochaines années. La République de Corée peut ainsi se saisir de directions de recherche et d'activités qui ont été évaluées comme prioritaires et sera davantage en mesure de contribuer activement au développement de la construction et des architectures en terre, pour le bénéfice de son pays, de sa région et du plus vaste monde.

² En application d'une méthode de discussion interactive et de modération dénommée « SWOT » qui permet d'analyser les forces (*Strengthes* ou « S »), les faiblesses (*Weaknesses* ou « W »), les opportunités (*Opportunities* ou « O »), et les menaces (*Threats* ou « T »).

2 – La situation internationale : synthèse de l'état des savoirs et pratiques

2.1. - Le contexte international et l'impact des Etats-Unis d'Amérique

Au cours des deux dernières décennies du XX^{ème} siècle et durant ces premières années du XXI^{ème} siècle, la technique de la construction en terre a rapidement évolué sur fond d'un mouvement international favorable à un renouveau des architectures de terre. Ce mouvement a été initié au cours des années 1970 avec la Contre-culture nord américaine, dans la région du Grand Sud-ouest des Etats-Unis (Nouveau Mexique, Arizona, Californie), exprimant un fort engagement social et culturel pour un changement de la société et de son style de vie. Il a été ensuite activé par le premier choc pétrolier de 1973 qui a été suivi d'une autre crise en 1979. A partir de ce contexte originel, le mouvement s'est étendu à l'Europe et à plusieurs autres régions du monde. Cette période de l'histoire récente militait pour une recherche d'alternatives à la consommation des énergies, particulièrement dans le domaine de la construction qui était reconnu comme l'un des grands secteurs consommateur. Ce que l'on appelait alors « l'architecture de style international » faite de béton, acier et verre, était de plus en plus critiquée. D'autre part, en réaction à cette tendance à la globalisation et à l'extension d'une architecture « transculturelle », la volonté de refonder les identités culturelles des territoires contribuait à porter une nouvelle attention aux architectures vernaculaires traditionnelles. On redécouvrait le potentiel exceptionnel de cultures constructives utilisant la terre des territoires locaux. Dans le contexte nord-américain, le style des « *solar adobes* » (maisons solaires passives construites en briques de terre crue), s'imposait comme une réponse alternative. Ce style donnait ainsi naissance à une toute nouvelle filière de construction en terre qui allait entraîner un développement significatif de la technique pour l'habitat et les équipements publics.

2.2. - L'engagement français et européen

Dans le contexte européen, la fin des années 1970 a directement été influencée par le mouvement nord-américain, particulièrement dans les facultés et écoles d'architecture où quelques enseignants et étudiants étaient sensibilisés au débat international sur l'économie des énergies et des ressources non renouvelables, ainsi que sur la production de la rareté culturelle. La création du CRATerre, en France, à Grenoble, doit être située dans ce contexte. Au même moment, comme conséquence de l'histoire coloniale des pays d'Europe, en Afrique et en Amérique latine, et suite aux récentes indépendances de ces anciennes colonies (au cours des années 1960), un nouveau débat se développait qui prenait la mesure d'un important écart de développement entre le « Nord » et le « Sud ». En janvier 1981, à Paris, le Centre Georges Pompidou inaugurait une exposition intitulée « *Architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire* » qui était typiquement structurée autour de cette question du Tiers-monde ou des « pays en développement ». Cette exposition, qui constitue encore à ce jour un événement culturel international majeur n'ayant jamais été reproduit instruisait un débat sur la recherche de réponses alternatives au manque dramatique de logement populaire, particulièrement en termes d'accessibilité économique, et sur l'utilité des ressources locales en matériaux et

savoir-faire. L'exposition en appelait directement à une approche culturelle pour une architecture contemporaine qui pourrait réutiliser un matériau très ancien et universel, la terre, offrant plusieurs atouts: abondance de la ressource physique sur l'ensemble de la planète, faisabilité et accessibilité technologique au regard d'un large éventail de modes d'emploi du matériau, techniques de construction pouvant être très largement déclinées en de nombreuses variantes régionales et locales, accessibilité économique (en termes d'investissement pour les équipements et outils de production, en terme de coûts de construction), faible impact environnemental et fort potentiel d'économie des énergies grises de production ainsi que pour la construction et l'entretien des bâtiments. Mais également de nombreux atouts en matière de construction et d'architecture confirmés par un fantastique patrimoine de cultures constructives et architecturales qui pourrait inspirer les ingénieurs et les architectes dans le monde entier. Dans le sillage de cette exposition internationale qui était immédiatement distribuée et présentée dans les plus grands musées des grandes capitales de la planète au cours des années 1980, un projet majeur d'habitat social était réalisé en France : le « *Domaine de la Terre* », sur la Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau (située entre Lyon et Grenoble, sud-est de la France). Ce programme de 65 logements en terre a testé et démontré la faisabilité technique de la construction en terre en conditions réelles en ce début des années 1980 (1983-85), en application des techniques du « *pisé* » (terre compactée en coffrages), du bloc de terre vibro-compactée, et de la terre-paille (en remplissage d'ossatures en bois). Il a aussi démontré la faisabilité économique de la majorité des logements construits dont les coûts d'exécution restaient situés dans les références du logement social de l'époque. Durant le chantier comme dans les années qui ont suivi, ce projet a été visité par un nombre considérable de personnes et de professionnels venus de multiples horizons. Il a suscité de nombreuses vocations parmi des architectes, des maîtres d'ouvrages et des constructeurs, non seulement en Europe mais aussi bien plus loin, en Afrique, en Australie et en Nouvelle Zélande.

En décembre 1984, à Bruxelles, le Centre des Nations Unies pour les Etablissements Humains-Habitat (CNUEH), en collaboration avec l'Administration Belge pour la Coopération au Développement (AGCD) organisaient le colloque international « *Earth building techniques for development countries* ». Ce colloque résultait d'un projet international qui avait été lancé deux ans auparavant, en 1982. Il constituait une nouvelle étape de production d'une documentation spécialisée couvrant le domaine de la construction et de l'architecture en terre. Les actes du colloque, un ensemble de huit volumes résultant du projet dressaient un nouvel état de l'art dans le domaine. Cette documentation rassemblait une série d'études de cas analysant l'emploi de la terre en construction dans des situations variées, en Afrique, Amérique latine et en Asie. Elle analysait quelques grandes traditions des architectures de terre et des projets récents d'habitat populaire utilisant les ressources de matériaux et de techniques plus récentes. La synthèse de ces études de cas proposait une analyse globale et une évaluation des nouvelles perspectives d'emploi de la terre comme matériau de construction, particulièrement pour les établissements humains des populations à faible revenu. Elle questionnait le potentiel d'amélioration de la technique de production et de construction et débattait des conditions qui limitaient la perspective d'une plus large adoption de la terre crue comme matériau de construction moderne. Des orientations pour les décideurs étaient proposées incluant les domaines d'application et les avantages de la construction en terre, ainsi que l'identification des besoins. Un ensemble de matériel

audiovisuel était également produit. L'objectif de ce colloque qui rassemblait des organisations gouvernementales et non gouvernementales, des experts internationaux, des chercheurs universitaires et des professionnels, était de diffuser largement les résultats du projet. D'autres objectifs corollaires visaient à relier les résultats du projet avec les expériences d'experts de manière à donner une meilleure compréhension des avantages de la construction en terre et des besoins, et pour identifier un ensemble d'objectifs et de futures actions visant à promouvoir l'emploi de la terre en construction là où cela était souhaitable. Le huitième volume des actes du colloque avait été préparé par CRATerre³. Il s'agissait du « *Earth Construction Primer* » à propos duquel Hugo Houben, en le présentant, déclara : « *"The Earth Construction Primer is the second document of this nature which is published by the United Nations, and as such it indicates the start of a new period. In order to get an idea of the enormous progress in earth construction in the past years, one just has to compare the Earth Construction Primer with the first document, the Manual on Stabilized Soil Construction for Housing, which was written by Mr. Robert Fitzmaurice for the United Nations, in 1958."* (Houben 1984, p. 52)⁴. Ce livre a été ensuite révisé puis publié en français en 1989 aux éditions d'architecture Parenthèses⁵, puis en anglais en 1994 par *Intermediate Technology Development Group*⁶, organisation qui avait été fondée au début des années 1970 par le très célèbre Ernst Friedrich Schumacher, auteur du fameux « *Small is Beautiful* ».

2.3. – Synthèse des recherches sur les techniques de construction en terre

Les recherches sur le Bloc de terre comprimée (BTC), ou blocs produits au moyen de presses

A partir du milieu des années 1980 et jusqu'à la fin des années 1990, soit sur près de 15 ans, un effort soutenu de recherche scientifique a été développé dans le domaine de la technique du Bloc de terre comprimée (BTC). Dans un premier temps, cet effort a bénéficié du soutien des institutions françaises, avec des financements alloués par le Plan Construction et Habitat, puis du Centre pour le Développement de l'Industrie (CDI) de l'Union Européenne, dans le cadre de la mise en œuvre de la Convention de Lomé ACP-UE (Afrique, Caraïbes, Pacifique). Les recherches sur le BTC visaient à produire et diffuser largement les outils utiles pour un développement industriel de cette technique vers les pays en développement où la situation du manque de logements s'étendait de façon dramatique, manifestant alors le symptôme du large fossé qui se creusait entre le Nord et le Sud. Cette technique du BTC offrait les avantages d'une meilleure faisabilité technique et économique, et contribuait à une revalorisation de la technique traditionnelle de la brique de terre crue moulée, plus connue sous le nom de « *adobe* ». Elle donnait un label de modernité par l'emploi d'un équipement de production mécanique et mécanisé, presses et unités industrielles. Simultanément, depuis la fin des années 1970 et au cours des années

³ **Houben & Guillaud 1984** : Houben, Hugo, Guillaud, Hubert – *Earth Construction Primer*, UNCHS-Habitat, PGC-HS, CRA & AGCD, International Colloquium Earth building techniques for developing countries, vol. 8, Bruxelles, Belgique, 1984, 361 p.

⁴ **Houben 1984**: Houben, Hugo – *Présentation du Earth Construction Primer*, pp. 52-54, p. 52; in UNCHS (Habitat), AGCD (Belgian Administration for Development Co-operation (AGCD), Belgian Ministry for Foreign Affairs (ABOS) – *Proceedings of the International Colloquium on Earth Construction Techniques Appropriate to Developing Countries*, Bruxelles, Belgique, 10-12 décembre 1984, 186 p.

⁵ **Houben & Guillaud 1989**: Houben, Hugo, Guillaud, Hubert – *Traité de Construction en terre*, Parenthèses Publisher, Marseille, France, 1989, 355 p.

⁶ **Houben & Guillaud 1994**: Houben, Hugo, Guillaud, Hubert – *Earth Construction. A comprehensive Guide*, Intermediate Technology Development Group Publications, Rugby, England, 1994, 362 p.

1980, plusieurs programmes d'habitat avaient été réalisés ou étaient en cours de développement – particulièrement en Afrique – qui confirmaient le fort potentiel de la technique du BTC. Parmi ces programmes on peut relever les projets de l'ADAUA⁷, au Burkina Faso, et le programme exemplaire qui a été développé sur l'île de Mayotte, une Collectivité territoriale française située dans l'archipel des Comores, qui comptabilisaient déjà, à la fin des années 1990, la construction de milliers de logements sociaux économiques en BTC et avait de ce fait généré un nouveau patrimoine architectural de qualité et de style propre au contexte.

La bibliographie qui a été produite par le CRATerre, résultat d'un investissement de recherche conséquent sur la technique du BTC a couvert tous les aspects utiles pour une large diffusion des connaissances théoriques et pratiques vers la communauté professionnelle et institutionnelle internationale⁸. Les recherches sur le BTC ont été également développées en d'autres pays, comme l'Angleterre. A partir du *Department of Architecture and Civil Engineering* de l'Université de Bath, l'ingénieur Peter Walker a travaillé sur les spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée stabilisés, sur la caractérisation des matériaux, les procédures d'essais (érosion, résistance et durabilité). Comme rapide bilan sur la technique du BTC au cours de ces 30 dernières années, nous pouvons dire qu'à partir de la fin des années 1990, aucune évolution majeure n'a été depuis lors apportée. D'autres tentatives ont été faites dans le domaine de la stabilisation, de l'hyper compression et de l'industrialisation en vue d'améliorer la qualité et les performances mécaniques du matériau ou pour augmenter la productivité. Mais dans cette approche, les intérêts économiques primaient sur les réels avantages techniques. L'évolution en direction d'une technique de plus en plus sophistiquée a rapidement atteint ses limites, particulièrement sur le plan économique. Elle a considérablement augmenté les coûts de production du matériau, élevé la consommation des énergies de production, et a finalement abouti à moins d'accessibilité socioéconomique.

Les recherches sur le pisé (terre comprimée en coffrages)

Au même moment, les années 1980 et 1990 ont aussi favorisé un renouveau de la technique du pisé. En France, une première étape de recherche architecturale

⁷ ADAUA: *Association pour le Développement d'une Architecture et d'un Urbanisme Africains* (Association for the Development of an African Architecture and Town Planning, située à Ouagadougou. Cette association d'architectes, d'ingénieurs et d'urbanistes, professionnels originaires d'Afrique et d'Europe a notamment valorisé une architecture en arcs, voûtes et coupoles pour laquelle le BTC est particulièrement adapté.

⁸ La bibliographie en langue anglaise rassemble les titres suivants :

- **Houben & al. 1989:** HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric, MAINI, Serge – *Compressed Earth Blocks: Selection of Production Equipment*, Centre for the Development of Industry (CDI ACP EEC), Brussels, Belgium, January 1989, 61 p.
- **Houben & al. 1994:** HOUBEN, Hugo, RIGASSI, Vincent, GARNIER, Philippe, and DOAT, Patrice, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, GUILLAUD, Hubert – *Compressed Earth Blocks. Production Equipment*, Guide, Series Techniques n°5, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EEC), Brussels, Belgium, 1994, 149 p.
- **Rigassi 1995:** RIGASSI, Vincent – *Earth Compressed Blocks, Vol I Production Manual*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) and Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1995, 104 p.
- **Guillaud & al. 1995:** GUILLAUD, Hubert, JOFFROY, Thierry, ODUL, Pascal - *Earth Compressed Blocks, Vol II Design and Construction Manual*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) and Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1995, 148 p.
- **Houben & al. 1998:** HOUBEN, Hugo (CRATerre) & BOUBEKEUR, Sid (CDI), RIGASSI, Vincent, D'ORNANO, Sébastien, GARNIER, Philippe, and DOAT, Patrice, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, GUILLAUD, Hubert – *Compressed Earth Blocks; standards*, Guide, Series Techniques n°11, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EU), Brussels, Belgium, 1998, 142 p.
- **Rigassi et al. 2000:** RIGASSI, Vincent & HOUBEN, Hugo (CRATerre), BOUBEKEUR, Sid (CDI), MESBAH, Ali & MOREL, Jean-Claude (ENTPE) – *Compressed Earth Blocks ; testing procedures*, Series Techniques n°16, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EU), Brussels, Belgium, 2000, 121 p.

aboutissait à un état de l'art au prisme d'une approche historique et culturelle⁹. Simultanément, dans le contexte du projet pilote du « *Domaine de la Terre* », réalisé sur la Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau (1983-85) avec le soutien du gouvernement français, de nouvelles expérimentations sur la technique du pisé, entre tradition et modernité (amélioration des coffrages traditionnels et coffrages intégraux), avaient été développées. Après l'achèvement de ce projet, en 1985, les recherches sur le pisé, bien que moins soutenues sur le territoire français, furent davantage associées à des projets développés en coopération internationale. Au Maroc, le projet « *Marrakech 1983-87* »¹⁰ qui était développé sous l'égide du programme interministériel français « *Rexcoop* » (Recherche expérimentale en coopération) permettait de tester un nouveau type de coffrage en armature métallique et panneaux de contreplaqué. D'autres recherches originales allaient être développées dans le cadre de la formation spécialisée du CRATerre, à l'Ecole d'Architecture de Grenoble. Un des étudiants, Nicolas Meunier, avec son mémoire de diplôme¹¹, imagina un nouveau procédé pour produire de gros blocs de pisé préfabriqués et développa par la suite cette nouvelle technique, comme entrepreneur. Cette innovation peut être considérée comme une nouvelle étape décisive dans l'évolution de la technique du pisé. Elle a inspiré toute une nouvelle génération de constructeurs qui ont considérablement développé le procédé. On pense particulièrement ici au travail remarquable qu'a entrepris et développé le constructeur autrichien Martin Rauch, qui est aujourd'hui considéré comme la principale référence dans ce domaine¹². Dans ce contexte européen, durant les années 1983-84, d'autres recherches et expérimentations étaient aussi développées par le Dr. Ing. Gernot Minke, au GHK de Kassel, en Allemagne. Ces nouvelles recherches prolongeaient des expérimentations antérieures qu'il avait développées au Guatemala¹³, dans le cadre d'un programme de reconstruction suivant un séisme majeur qui avait dramatiquement affecté le pays en 1978. A Kassel, les nouvelles expérimentations de Gernot Minke portaient sur un nouveau procédé de compactage, avec une plaque vibrante qui se déplaçait automatiquement dans le coffrage grâce à un moteur électrique (fixé sur la plaque) générant des vibrations et les directions orientées de mouvement de la plaque vibrante. Toutes les recherches du Dr. Ing. Gernot Minke ont été récemment communiquées avec deux publications majeures¹⁴.

Après une relative stagnation de la recherche sur le pisé, on observe actuellement une nouvelle étape d'évolution et d'innovation. En ayant récemment développé une

⁹ CRATerre développait une première recherche sur l'architecte et constructeur François Cointeraux, fondateur d'une "Ecole d'Architecture Rurale" durant la première moitié du 19^{ème} siècle. Cointeraux a joué un rôle de tout premier plan dans la diffusion internationale de la technique du pisé grâce à la traduction en plusieurs langues étrangères de son fameux "*Quatrième Cahier d'Ecole d'Architecture Rurale*" (1790). Ainsi, le pisé s'est diffusé dans tous les pays d'Europe (Allemagne, Italie, Danemark, Suède, Russie) et jusqu'aux Etats-Unis, en Australie et Nouvelle Zélande. CRATerre développait une deuxième recherche sur l'état de l'art du pisé dans le monde : **CRATerre, Guillaud et al 1985** : GUILLAUD, Hubert (dir. et rédacteur), DOAT, Patrice, ROLLET, Pascal, HOUBEN, Hugo - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé : état du savoir-faire « pisé » français et étranger*, éditions AGRA-EAG, Grenoble, 1985, 388 p.

¹⁰ **CRATerre, Guillaud et al. 1987** : GUILLAUD, Hubert, DOAT, Patrice, ESTEVE, Josep, HOUBEN, Hugo, ROLLET, Pascal, VERNEY, Pierre-Eric – *Marrakech 87 Habitat en terre*, éd. CRATerre, Grenoble, 1987, 253 p.

¹¹ **Meunier 1987**: MEUNIER, Nicolas – *Autre procédé pour la mise en oeuvre de bâtiments en terre compactée*, Memoire de CEAA-Terre 1985-87 (sous la direction de Hugo Houben), Ecole d'Architecture de Grenoble, France, 48 p.

¹² **Rauch 2001**: RAUCH, Martin – *Lehm und Architektur*, ed. Birkhauser, Basel, Switzerland, 2001, 159 p.

¹³ Gernot Minke testait alors un nouveau coffrage en acier, en forme de "T", qui permettait d'élever des trumeaux verticaux en pisé auto stables et renforcés par des tiges de bambou, puis connectés en leur patrie haute par un chaînage en poutre de bois.

¹⁴ **Minke 2006**: MINKE, Gernot – *Earth Construction Handbook*, WIT Press/Computational Mechanics Publications. Et, **Minke 2006**: MINKE, Gernot – *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser, Basel, Switzerland, 2996, 200 p.

recherche fondamentale sur les caractéristiques et les propriétés de la cohésion de la « matière en grains » (particulièrement sur la terre traditionnellement utilisée pour le pisé dans la région de l'Isère, en France, CRATerre et d'autres partenaires scientifiques¹⁵, ont récemment ouvert de nouvelles directions pour le développement de la technique du béton de terre coulé. Au cours de ces trois dernières années, des expérimentations ont été réalisées et sont actuellement poursuivies, qui présentent un fort potentiel de développement futur. Au-delà du contexte européen, des approches innovantes sur la technique du pisé ont été développées durant les années 1980 et 1990, aux Etats-Unis et en Australie. Les travaux antérieurement réalisés par David Miller¹⁶, fondateur du « *Rammed Earth International Institute* » (REII) à Greeley, Colorado, dans les années 1970, avaient promu un nouveau procédé de coffrage qui permettait d'évoluer de la tradition du pisé en progression horizontale (déplacement linéaire du coffrage) vers une construction en murs trumeaux verticaux, successifs et indépendants. Ce procédé était très vite adopté par une nouvelle génération de constructeurs dans les deux pays. David Easton¹⁷, fondateur de la firme « *Rammed Earth Works* » développait le procédé en Californie ainsi que d'autres constructeurs en Arizona et au Nouveau Mexique où une nouvelle architecture en pisé est apparue dans les années 1980 et 1990. Récemment David Easton a évolué en direction de la technique du pisé projeté, à haute pression, sur des structures en acier, qui ouvre de nouvelles directions d'expérimentation et d'innovation. En Australie, le procédé de David Miller était également adopté par Stephen Dobson, fondateur de la firme « *RAMTEC* » à Perth, Western Australia, puis par l'architecte-constructeur David Oliver, fondateur de « *Greenway Architects* » et de « *Commercial Engineering Aggregate Construction* » (CEAC), à Buderim, Queensland. Ces deux constructeurs ont donné une impulsion à un fantastique développement du pisé en Australie et en Nouvelle Zélande qui engage désormais de nombreuses autres entreprises¹⁸.

Les recherches sur les autres matériaux de construction en terre

Si l'on considère l'évolution des autres techniques majeures de construction en terre au cours des trois dernières décennies, on peut dire que peu d'avancées ont été réalisées et que beaucoup reste encore à faire pour passer à une nouvelle étape d'innovation.

La brique de terre crue ou « adobe » (brique crue « moulée »)

Considérons la technique de la brique de terre crue, couramment référencée sous le terme de « *adobe* »¹⁹ qui demeure encore à ce jour le mode de construction en terre le plus utilisé dans le monde. Qu'est-il advenu ? Globalement, la technique reste très traditionnelle dans beaucoup de contextes. Les populations locales utilisent toujours des moules en bois tel que cela se pratique depuis l'Antiquité. Le mortier de terre

¹⁵ Notamment avec le laboratoire de physico-chimie structurale et macromoléculaire de l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris, ESPCI – UMR 7615 du CNRS, dirigé par le Professeur Henri Van Damme.

¹⁶ **Miller & Miller 1980**: MILLER, David, MILLER, Lydia – *Rammed Earth Homes. Manual for Building a Rammed Earth Wall*, édité par les auteurs, Greeley, Colorado, Etats-Unis, 1980, 27 p. + annexes.

¹⁷ **Easton 1996 2007**: EASTON, David – *The Rammed Earth House*, Chelsea Green Publishing, 272 p.

¹⁸ Parmi cette nouvelle génération d'entreprises on relevera ici Leon Harrington, fondateur de « RamCo » à Perth, Ian & Tina Collett, fondateurs de la firme « Stabilized Earth » à Adelaïde, et bien d'autres que l'on peut identifier sur le site de l'Association des constructeurs en terre australiens. Visiter le site de ebaa: <http://www.ebaa.asn.au/>

¹⁹ Ce terme qui est généralement employé vient de la langue arabe : de *ottob* et *toub* mais également de *tabyia* qui ont ensuite donné dans l'adaptation en langue espagnole adobe. Aujourd'hui, les chercheurs préfèrent revenir à un terme plus générique désignant le matériau, celui de *brique crue*.

utilisé pour mouler ces briques crues qui seront séchées au soleil demeure aussi très traditionnel dans beaucoup de régions du monde. Il est communément composé de sol argileux et limoneux amendé en paille hachée ou d'autres végétaux locaux. Dans les contextes industrialisés, comme on l'observe aux Etats-Unis et en Australie, la technique a évolué dans deux directions. Tout d'abord en direction des moules à compartiments multiples qui permettent la production de 2, 4, 6 et jusqu'à 12 briques en même temps (le moule est alors manipulé par 2 personnes), procédé qui est accessible pour une majorité d'auto constructeurs. Par ailleurs, l'évolution majeure de la technique a été imaginée aux Etats-Unis dès le début du XX^{ème} siècle, où un immigré Allemand, Hans Sumpf, qui s'installait à Fresno, Californie, développait une machine pondeuse de briques crues, d'abord tractée par un cheval, qui permettait de produire 30 briques en une seule fois. Depuis cette époque, le procédé a été mécanisé et motorisé. Les briques crues sont désormais stabilisées avec des *cut-backs* pétroliers, mais aucune évolution majeure n'a été opérée. Cette technique permet de produire des milliers de briques par jour (environ 10 000 unités par machine). D'autres tentatives ont été faites dans la direction des briques crues découpées, avec des machines à disques qui offrent aussi un potentiel de productivité élevée mais qui n'ont pas connu de développement significatif. L'un des handicaps majeurs de la technique est la grande surface nécessaire pour l'aire de production et le séchage des briques. Néanmoins, cette question peut trouver des réponses différentes selon que l'on est un auto producteur et constructeur ou une grosse entreprise. C'est par exemple le cas d'une petite unité de production qui a été récemment installée dans le sud du Portugal, région de l'Algarve, « *Construdobe* », ou une solution intermédiaire pour le transport du mortier, à partir d'une centrale et au moyen de wagonnets sur rails, a été adoptée. Une meilleure gestion de la phase de séchage, permet d'empiler les briques et de les protéger avec des bâches en plastique, ce qui contribue à réduire considérablement la taille de l'aire de production et de séchage. Une autre évolution récente de la technique de la brique crue nous vient d'Allemagne où l'entrepreneur Peter Breidenbach, fondateur de la firme « *Claytec* », à Viersen-Boisheim, a développé un nouveau procédé de production industrielle de petites briques crues qui sont séchées lentement dans des locaux humides, comme on le fait pour les blocs d'agrégats et ciment. Au cours des cinq dernières années, la firme *Claytec* a étendu son marché dans les pays d'Europe – et récemment jusqu'au Bangladesh – en franchisant des distributeurs régionaux de ses produits qui sont de plus en plus accessibles aux entrepreneurs. Ainsi, sur la base de ce bref bilan d'évolution de la technique de la brique crue on observe que de nouvelles directions de recherche restent ouvertes mais sur un éventail restreint de possibilités. La question de la réduction de la taille de l'aire de production demeure centrale si l'on considère le potentiel de développement industriel de cette technique.

La construction en structure bois et torchis (terre et fibres végétales en remplissage)

Concernant cette technique associant traditionnellement l'ossature bois et le remplissage en terre on peut également dire qu'aucune évolution majeure n'a été observée, excepté sur les principes de conception des ossatures en bois. C'est au Brésil, dans les années 1980²⁰, dans le contexte d'une recherche architecturale sur l'habitat populaire très économique qu'un nouveau procédé de construction a été testé puis développé. Ce procédé propose un système de structure en bois

²⁰ Dam Fundação Centro De Desenvolvimento Das Aplicações De Madeiras No Brasil, 1988 : *Taiipa em painéis modulados* (Torchis en remplissage de panneaux modulaires), MEC/SG/CEDATE publishing, Brasília, Brésil, 1988, 60 p.

modulaire (avec des éléments en bois de section standard) qui inclue les ouvertures, soit portes et fenêtres, également modulaires. Les cadres modulaires de structure intègrent des panneaux tressés en vannerie de baguettes de bois ou de bambou refendus qui sont ensuite recouverts de terre. Ce procédé a été considérablement développé dans les pays d'Amérique latine. Il a même été industrialisé en Costa Rica avec la technique de la *Guadua*, une variété spécifique de bambou qui est utilisée en construction à cause de sa très bonne résistance mécanique. Ce procédé de construction en cadres préfabriqués de charpente a été aussi associé à d'autres recherches sur la construction en terre parasismique qui sont en fait un « remix » de très anciennes cultures constructives en régions sismiques. Le système de construction est en effet très pertinent pour améliorer le comportement au risque sismique. Que peut-on espérer en terme d'évolution future de cette technique de l'ossature bois et du torchis ? Pas grand-chose, excepté, peut-être, en direction d'une industrialisation plus performante des éléments de construction, particulièrement pour les supports du torchis, qui pourraient être conçus avec des matériaux modernes, autres que ceux traditionnellement utilisés, de nature végétale. Mais également dans le domaine de la préparation du mélange sec de terre et fibres, en amont et de son conditionnement en sacs prêts à être livrés sur les chantiers, tendance qui s'est déjà amorcée en Allemagne et en France. Ainsi, bien que l'on n'ait jusqu'à présent observé aucune évolution majeure de la technique, on peut relever une toute nouvelle tendance qui a été récemment testée et appliquée pour la réalisation d'architectures originales. Cette évolution nous vient du Chili où un architecte, Marcelo Cortes, travaillant à Santiago, a développé un nouveau procédé de torchis projeté sur des structures en métalliques. Ces structures sont dressées à partir d'éléments en acier de récupération issus de la destruction de vieux bâtiments industriels. Cette approche du recyclage est essentielle et contribue à un développement durable local malgré le coût énergétique de l'acier. Le torchis est projeté à haute pression et l'on obtient une bien meilleure densité par compactage du matériau. Ce procédé améliore très sensiblement les propriétés mécaniques du matériau qui sont, traditionnellement, relativement faibles.

La construction en structure bois et terre-paille (mélange de barbotine argileuse et de paille)

La technique de la terre-paille est connue en Allemagne sous l'appellation de *Leichtlembau* où elle a été développée depuis le XIX^{ème} siècle. L'adaptation la plus récente de cette technique pour la réalisation de bâtiments modernes a été faite par l'architecte Franz Volhard qui publiait un livre présentant le matériau et le potentiel d'applications constructives, en 1983²¹, soit il y a déjà 25 ans. Depuis lors, cette technique n'a pas évolué mais a connu des développements substantiels particulièrement dans le secteur de l'auto construction. Aujourd'hui, avec une plus large conscience internationale des problèmes écologiques auxquels le monde fait face, du fait de ses qualités d'isolation thermique très intéressantes et de sa grande flexibilité d'emploi pour produire des composants de construction variés (mise en œuvre in situ en coffrage, production de blocs de différentes taille, matériau d'isolation thermique et phonique en murs, planchers et toitures), cette technique de la terre-paille progressera sans doute rapidement. La traduction du livre en allemand

²¹ **Volhard 1983:** VOLHARD, Franz – *Leichtlembau. Alter Baustoff – neue Technik*, Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe, Allemagne, 1983, 158 p.

de Franz Volhard en autres langues étrangères, pour une plus large diffusion internationale de la technique, apparaît de plus en plus nécessaire.

La construction en bauge (murs massifs en terre empilée, non coffrée)

Il convient aussi de considérer un renouveau de la technique de la bauge, bien que celui-ci soit encore assez timide. Cette technique, que l'on connaît aussi sous le vocable anglais de « cob » est encore traditionnellement utilisée dans beaucoup de régions du monde, en Afrique et en Asie²². Bien qu'elle ait été abandonnée dans beaucoup d'autres régions où elle était très courante (Europe), une récente évolution a été développée en France, durant les années 1980. Un entrepreneur travaillant dans la région de Rennes (Bretagne française), M. Jean Guillorel, imaginait un nouveau procédé de préfabrication de gros blocs de bauge qui étaient ensuite transportés par camion sur les chantiers et mis en œuvre au moyen d'une grue. Cette approche rappelle la technique similaire qui a été développée par Nicolas Meunier, en France, et par Martin Rauch, en Autriche, pour les blocs ou panneaux de pisé préfabriqués. La technique de Guillorel a été appliquée sur plusieurs projets, notamment pour la restauration d'anciens bâtiments en bauge de sa région, et a été aussi utilisée pour la construction d'un immeuble d'habitation de plusieurs étages dans la ville de Rennes. Ce bâtiment est connu sous le nom de « *Salvatierra* ». Plusieurs problèmes se sont présentés durant le chantier et les apports de cette expérience, bien qu'intéressants, n'ont pas été totalement convaincants pour permettre davantage développement. Néanmoins, davantage de recherche et d'expérimentation dans cette direction devrait être développé car le matériau présente de réels avantages techniques et économiques.

La construction en gazon (blocs de terre herbeuse découpés à même le sol)

Cette technique ancienne du gazon, également connue sous le vocable anglais de « sod » (ou « grass », « turf »), était couramment utilisée au cours des époques médiévales dans les pays du nord de l'Europe (Angleterre, Allemagne, Danemark, Suède). Elle a été aussi plus récemment employée, par les immigrés européens partis en Amérique, dans la région du Nebraska, aux Etats-Unis, mais encore jusqu'en Amérique latine. Le procédé de construction en gazon a connu un renouveau récent en Uruguay, promu par une architecte de Montevideo, Cecilia Alderton Belluni. Au cours d'une visite dans le pays, effectuée en 2000, nous avons réalisé une évaluation de cette technique et des réalisations architecturales de cette architecte. Le procédé de construction associe des blocs de terre herbeuse, directement découpés à même le sol, utilisés en remplissage d'une ossature de poteaux en bois placés dans l'épaisseur des murs en mottes de gazon. C'est un procédé simple, accessible et très économique. Le seul problème à résoudre consiste à contrôler le tassement des blocs de gazon frais quand ils opèrent leur séchage. La construction en gazon présente un très bon bilan écologique global et offre également de très bonnes performances thermiques (régulation hygrothermique des parois). Comme l'on observe aussi le retour de la construction en bottes de paille, en plusieurs régions du monde, nous pensons que cette technique du gazon

²² Récemment, un superbe projet en bauge et en bambou a été réalisé au Bangladesh. Il s'agit d'une école qui a été conçue par l'architecte autrichienne Ana Heringer, avec les conseils technique de l'ingénieur allemand Christoph Ziegert. Ce projet a reçu de Prix de la Fondation Aga Khan 2007.

pourrait être appelée à d'autres développements avec davantage de maîtrise technique.

2.4. - Le nombre croissant de rencontres, conférences et colloques spécialisés dans le monde

La forte mobilisation internationale

On doit relever le rôle décisif rempli par les très nombreux événements internationaux qui ont été organisés au cours de ces dernières trente années sur la production des connaissances dans le domaine de la construction et de l'architecture en terre. Depuis le début des années 1980, jusqu'à ce jour, on peut observer une mobilisation permanente et de plus en plus soutenue, à l'échelle internationale, visant à créer des lieux et moments d'échange et de partage des savoirs scientifiques et techniques, et pour débattre des pratiques. Sur une seule décennie, le développement des conférences internationales sur la conservation des patrimoines architecturaux en terre, qui débutait à Yazd, Iran, en novembre 1972, puis en mars 1976, même lieu, pour être ensuite élargi au Pérou, en octobre 1977, puis à la Turquie, en septembre-octobre 1980, puis de nouveau au Pérou, en septembre 1983²³, a rapidement contribué à construire les bases d'un réseau scientifique international d'institutions, d'experts, de chercheurs universitaires et de professionnels. La périodicité de 4 à 5 ans entre les événements a dynamisé les mobilisations sur la recherche. En octobre 1987, une nouvelle étape était franchie avec une réunion qui s'est tenue à Rome, Italie. Cette réunion relevait la nécessité d'activer le développement de la recherche et d'un enseignement spécialisé en contexte institutionnel. Ainsi allait être conçu le premier programme cadre, avec le « *Projet GAIA* » qui était lancé par le CRATerre et l'ICCROM. C'est sous l'égide de ce projet qu'étaient successivement organisés les cours internationaux « *PAT* » (Préservation des Architectures de Terre), à l'Ecole d'Architecture de Grenoble, en 1989, 90, 92 et 1994. Poursuivant cette initiative, le « *Projet TERRA* » était inauguré en 1995 et associait le *Getty Conservation Institute* (Los Angeles, Etats-Unis) aux partenaires initiaux du *Projet GAIA*. Ce nouveau projet réalisait successivement deux Cours panaméricains, en 1996 et 1999, sur le fameux site archéologique de Chan Chan, patrimoine mondial de l'UNESCO, au Pérou. Simultanément, ces deux projets ont joué un rôle majeur dans l'organisation d'autres grandes conférences internationales, en 1990, à Las Cruces, Nouveau Mexique, Etats-Unis, en 1993, à Silves, Portugal, en 2000, à Torquay, Angleterre, en 2003, de nouveau à Yazd, Iran et encore tout récemment à Bamako, au Mali²⁴.

²³ Voici cette succession de grands colloques internationaux :

First International Conference on the Conservation of Monuments in Mud Bricks, Yazd, Iran, 25-30 Novembre 1972.

Second International Symposium on the Conservation of Monuments in Mud Bricks, Yazd, Iran, 6-11 Mars 1976.

Meeting on the Conservation of Adobe, Santa Fe, Etats-Unis, 3-7 Octobre 1977.

Third Conference for the Preservation of the Mud Brick (Adobe), Ankara, Turquie, 29 Septembre, 4 Octobre 1980.

Project on the Regional Cultural Heritage, Lima, Cusco, Trujillo, Pérou, 10- 22 Septembre 1983.

Fifth International Meeting of Experts in Conservation of Earthen Architecture, Rome, Italie, 22-23 Octobre 1983.

²⁴ Voici ces grandes conférences internationales:

6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, Nouveau Mexique, Etats-Unis, 14-19 Octobre 1990.

7th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, Silves, Portugal, 24-29 Octobre 1993.

8th International Conference on the study and Conservation of Earthen Architecture, Torquay, England, Mai 2000.

9th International Conference on the study and Conservation of Earthen Architecture, Yazd, Iran, 29 Novembre-2 Décembre 2003.

10^{ème} Conférence Internationale sur l'Etude et la Conservation du Patrimoine Architectural en Terre, Bamako, Mali, 1-5 Février 2008.

Parmi les conférences mentionnées, celle qui a été réalisée à Torquay en Angleterre en Mai 2000, a été très importante. Elle a été suivie d'une réunion d'experts, co-organisée par le *Projet TERRA*, visant à définir les directions de recherche prioritaires dans le domaine de la conservation des patrimoines architecturaux en terre. Durant cette réunion il a été notamment décidé d'engager une recherche scientifique sur la cohésion et la perte de cohésion du matériau terre. Cette recherche qui a été développée au cours de ces huit dernières années, au sein d'un partenariat associant les initiateurs de ce projet et leurs laboratoires de recherche, en collaboration avec plusieurs unités de recherche français du CNRS²⁵ (Centre National de la Recherche Scientifique), a produit des résultats décisifs pour une meilleure connaissance de la nature physique et chimique du matériau, et du comportement de la « matière en grains ». Ces résultats ouvrent de nouvelles voies pour l'innovation dans la technologie de construction en terre et donnent une forte impulsion à de nouvelles expérimentations dans le domaine des bétons de terre coulée ou du remplissage en terre sèche d'ossatures en bois ou systèmes de coffrages perdus²⁶. Des prototypes de construction innovante en bois et terre ont été testés dans le cadre des développements d'une recherche sur l'habitat des populations sans abris ou à très faible revenus, situation mondiale de plus en plus dramatique et critique. Ces nouvelles directions d'innovation scientifique et technique contribueront sans aucun doute à une révolution de la construction en terre.

Pour compléter ce rappel de la mobilisation internationale sur la conservation des patrimoines architecturaux en terre, il nous faut relever le développement d'autres initiatives continentales comme le « *Programme Africa 2009* » qui a été lancé en 1998 par le Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, CRATerre et l'ICCROM. Ce programme a donné une impulsion décisive à l'engagement institutionnel et culturel de 44 pays africains au sud du Sahara en facilitant la réalisation de cours régionaux annuels, de nombreux séminaires thématiques et projets scientifiques. A son prochain terme de l'année 2009, le relais de ce programme continental est d'ores et déjà assuré par un nouveau programme international, intitulé « *Architecture de Terre 2007-2017* » qui a été officiellement lancé par le Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO lors de la Conférence de Bamako, au Mali, en février 2008. Ce nouveau programme développera l'expérience issue d'Africa 2009 à tous les autres continents, dans les Etats Arabes, en Amérique, en Asie et en Europe.

Les initiatives nationales et régionales

Simultanément, au cours de ces trente dernières années de nombreuses initiatives étaient prises par plusieurs pays, puis par des réseaux régionaux de plus en plus formels, pour organiser des événements nationaux et régionaux autour de l'architecture de terre. Non seulement pour son étude et sa conservation mais aussi

²⁵ Au-delà des laboratoires de recherche du CRATerre, de l'ICCROM et du Getty Conservation Institute, partenaires du Projet TERRA, le CNRS a contribué à cette recherche sur la cohésion et perte de cohésion du matériau terre avec la participation des laboratoires suivants :

- le Laboratoire d'Etudes sur les Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) de l'Université Joseph Fourier de Grenoble;
- le Département Terre Atmosphère Océans et son Laboratoire de Géologie, équipe minéralogique, de l'Ecole Normale Supérieure de Paris;
- le Laboratoire de physico-chimie structurale et macromoléculaire de l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle (ESPCI) de Paris;
- Le Centre de Recherche sur les Mécanismes de la Croissance Cristalline de l'Université d'Aix-en-Provence.

²⁶ Ce nouveau procédé de construction a été conçu par l'architecte Xavier Porte qui a été formé à l'ENSAG, dans le cadre du Master "Architecture et cultures constructives", que dirige le Professeur architecte Pascal Rollet en association avec les laboratoires de recherche CRATerre et Culture constructive.

pour promouvoir un renouveau architectural. Sur une interminable liste d'événements, nous pouvons relever par exemple :

- trois colloques réalisés en France autour du développement du projet du « Domaine de la Terre, au cours des années 1982, 1983, 1984 et 1987²⁷ ;
- un Symposium international à Beijing, Chine, en 1985²⁸ ;
- plusieurs réunions successives réalisées en Italie, en Sardaigne, par l'Université de Cagliari, à partir du milieu des années 1980 jusqu'en 2007. D'autres événements italiens ont été réalisés depuis les années 1990 par le réseau national « *Città de la terra* » (Villes en terre) et aussi par le réseau national des universités, « *Universiterra* » (Universités de la terre). Un séminaire spécifique a été organisé par la prestigieuse université de Rome La Sapienza, en 1994, sur le thème « Habitat et Architecture de Terre »²⁹ ;
- la création du réseau allemand « *Dachverband lehm* » à la fin des années 1980, qui est très actif dans l'organisation d'événements professionnels et qui promeut fortement une architecture à faible impact environnemental ;
- deux colloques en Angleterre dans les années 1990³⁰ ;
- un séminaire organisé à São Paulo, au Brésil, en 1995³¹ ;
- les Séminaires Ibéro américains sur la Construction en terre, « *SIACOT* », qui ont été successivement organisés par le réseau « *Proterra* » (pays d'Amérique latine, Espagne et Portugal), à partir de la fin des années 1990 et jusqu'à ce jour, au Portugal, au Brésil, en Espagne, en Argentine et à nouveau au Brésil en novembre 2008 ;
- le Séminaire Régional sur la Conservation des Structures en Terre dans les Etats Arabes, organisé par le Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, le Ministère du Patrimoine du Sultanat d'Oman et le CRATerre, à Mascate, en décembre 2003 ;
- les cinq séminaires portugais « *Arquitectura de terra em Portugal* » (ATP) organisés par le « *CEDTerra* », réseau national portugais sur la construction et l'architecture en terre, l'*Escola Superior Gallaecia* (ESG) en lien avec des universités du pays, entre 2003 et 2007. L'un d'entre eux était organisé avec le Brésil (Mendoza) en 2005 alors qu'un nouveau séminaire s'est tenu en novembre dans ce même pays à São Luis (Minas Gerais) ;
- les trois Echanges Transdisciplinaires sur les Constructions en Terre Crue, successivement organisés en France en 2001, 2005 et 2008. Ces événements scientifiques présentent l'originalité de rassembler des archéologues, historiens, anthropologues, physiciens et chimistes, architectes et ingénieurs, entrepreneurs, permettant ainsi une approche plus holistique du domaine d'étude³².

Comme nous l'avons précédemment observé, cette liste sélective d'événements ne couvre pas la pleine activité qui a été développée dans le domaine de la construction et de l'architecture en terre au cours des trente dernières années aux niveaux

²⁷ *Actualité de la Construction en terre en France*, Plan Construction, ENTPE, EPIDA, Lyon, 14-15 Octobre 1982. *2^{ème} Congrès Archéologique de Gaule Méridionale : Architecture de terre et de bois*, Lyon 2-6 Novembre 1983. *Modernité de la Construction en terre*, Plan Construction, ENTPE, EPIDA, Lyon, 10-12 Octobre 1984. *Le Patrimoine Européen Construit en Terre et sa Réhabilitation*, ANAH, ENTPE, Lyon, 18-20 Mars 1987.

²⁸ *International Symposium on Earth Architecture*, The Architectural Society of China, Beijing, Chine, 1-4 Novembre 1985.

²⁹ *Habitat e Architettura di Terra; le potenzialità delle tradizioni costruttive* (Habitat et Architecture de terre, les potentialités des raditins constructives), Rome, Italie, 2-3 Decembre 1994.

³⁰ Séminaires *Out of Earth I* et *Out of Earth II*, Plymouth, Devon, Angleterre, 1994 et 1996.

³¹ Séminaire *Arquitetura de Terra* (Architecture de Terre), Université de São Paulo, 19-20 Octobre 1995.

³² *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre: la terre modelée, coupée ou coulée; matériaux et modes de construction*, Montpellier, France, 17-18 Novembre 2001. *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre n° 2 : les constructions en terre massive, pisé et bauge*, Villefontaine, France, 28-29 Mai 2005. Et 3^{èmes} *Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre: La brique de terre*, Toulouse, France, 16-18 Mai 2008.

international, régional et national. Nous voulions seulement restituer une trajectoire qui a progressivement engagé une étendue considérable d'intérêt de la part des milieux scientifiques et professionnels et qui a aussi couvert un champ d'étude de plus en plus large :

- l'état de l'art en construction et architecture en terre ;
- la recherche sur le matériau terre, les propriétés, les performances, la stabilisation ;
- architecture de terre, environnement et soutenabilité ;
- technologie de construction, résistance sismique et durabilité ;
- traditions et modernité des architectures de terre ;
- conservation et gestion des patrimoines culturels ;
- conception, construction, architecture et évaluation post-usage ;
- enseignement et formation professionnelle pour construire la capacité professionnelle.

Toutes ces activités et leurs résultats, sur cette période, ont été le produit de la mobilisation d'un nombre considérable d'institutions et de personnes (scientifiques et professionnels) constituant un réseau que l'on peut aujourd'hui évaluer à près de 500 membres experts (si l'on considère le nombre des représentants qui se sont réunis pour la dernière grande conférence internationale de Bamako, au Mali) auxquels on peut sans doute ajouter des centaines d'autres personnes qui ont été dans l'impossibilité de participer à cet événement, et surtout d'acteurs de terrain (des milliers). Ainsi, aujourd'hui, nous sommes dans l'impossibilité de comptabiliser toutes les institutions et les personnes qui sont concernées par des activités relevant du domaine de la construction et des architectures en terre.

Des réseaux de plus en plus formels dans le monde

L'évolution la plus significative des dix dernières années est sans aucun doute l'extension d'une structuration du domaine de la construction et de l'architecture en terre en réseaux académiques, scientifiques et professionnels, formels. On peut relever ici quelques unes de telles initiatives aux niveaux international, régional ou national :

- le réseau du CRATerre-ENSAG formé à partir des cours spécialisés de post-diplôme en architecture de terre qui ont été initiés depuis 1984. Actuellement, ce réseau regroupe près de 600 anciens étudiants, qui sont devenus soit enseignants, chercheurs ou professionnels travaillant dans le monde entier ;
- Le réseau CRATerre-ENSAG/ICCROM/GCI d'enseignants, chercheurs et professionnels travaillant dans le domaine de la conservation et la gestion des patrimoines architecturaux qui a été initié avec les cours « PAT » réalisés dans le cadre des projets GAIA puis TERRA, à Grenoble et au Pérou. Ce réseau rassemble environ 150 institutions et leurs représentants professionnels ;
- Le réseau de la Chaire UNESCO « Architectures de terre, cultures constructives et développement durable », créée en 1998 et pilotée par CRATerre-ENSAG qui rassemble 26 partenaires institutionnels dans le monde et leurs enseignants-chercheurs ;

- le réseau Ibéro américain « *Proterra* », créé à partir de 2001 et généré par le Programme CYTED/HABYTED³³ qui rassemble 50 membres institutionnels de 15 pays d'Amérique latine, Espagne et Portugal ;
- le réseau italien « *Universiterra* », créé en décembre 2003, qui rassemble 25 universités engagées dans des activités académiques et scientifiques ;
- le réseau italien « *Città de la terra* » qui rassemble toutes les municipalités du pays concernées par la présence d'un patrimoine architectural en terre, urbain et rural, sur leurs territoires et qui oeuvrent pour sa restauration ou réhabilitation, ou pour la promotion d'une nouvelle architecture de terre ;
- le réseau allemand « *Dachverbandlehm* » qui rassemble des institutions universitaires, des industries de la construction et des professionnels ; ce réseau est plus spécifiquement engagé dans l'organisation de grandes foires annuelles autour de la construction en terre et joue aussi un rôle déterminant pour la promotion de recommandations techniques ;
- le réseau africain en conservation et gestion des patrimoines architecturaux en terre qui a été généré par le programme « *Africa 2009* » au cours des dix dernières années et qui couvre 44 pays au sud du Sahara et leurs institutions culturelles, leurs personnels ;
- le réseau portugais « *Centro da terra* » qui réunit des professionnels, enseignants et formateurs, chercheurs, créé en 2002 ;
- le récent Institut de la Construction en terre de Corée (EIK) et qui rassemble également des enseignants et chercheurs universitaires ainsi que des industriels et des professionnels ;
- le réseau national français de professionnels de la construction en terre, « *ASTerre* » récemment créé en décembre 2006 ;
- et certainement beaucoup d'autres initiatives de rassemblement des intérêts et motivations en faveur de l'architecture de terre, dans le monde.

Tous les rassemblements et événements internationaux, régionaux et nationaux, tous ces réseaux, ont considérablement ajouté à la production des connaissances et à la diffusion des savoir-faire et pratiques actualisées. Les apports formels issus de ces événements (actes de conférences et colloques ou séminaires), les activités académiques et scientifiques qu'ils ont contribué à générer, constituent à ce jour une somme d'information de plus en plus immense à traiter et analyser.

La production de littérature scientifique et académique doit être associée à une activité de publication technique et culturelle d'ampleur mondiale. Il est désormais impossible de suivre cette activité presque frénétique de publication de livres, brochures, essais qui traitent de construction et d'architecture en terre. La terre serait-elle en train de devenir la « Rolls Royce » de la nouvelle « architecture verte » comme certains le déclarent ?

2.5. - Bref rappel de situation sur la normalisation de la construction en terre

Dans le contexte des pays industrialisés, le déclin de la construction en terre a pris différentes directions selon les facteurs et raisons qui l'ont accompagné. Par exemple, en France, le déclin de la construction en pisé peut être analysé comme

³³ CYTED: Programme Ibéro-américain de Science et Technologie pour le Développement (*Programa Ibero-americano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo*), créé en 1984, auquel 19 pays ont souscrit. HABYTED est un sous programme sur l'habitat d'intérêt social, créé en 1987 qui rassemble 120 délégués de 100 institutions de la région Ibéro-américaine.

une conséquence du décès de nombreux charpentiers qui étaient mobilisés pour la consolidation des galeries creusées et étayées pour la « guerre des tranchées » (nord de la France) qui a opposé les Français aux Allemands entre 1914 et 1918. Mais plus globalement, ce déclin observé dans les pays industrialisés s'est engagé après la Seconde Guerre Mondiale quand ces pays ont affronté une reconstruction massive des territoires sinistrés, puis une croissance démographique importante (le « *baby boom* » des années 1950-60). Ils ont dû pour cela redynamiser leur économie industrielle dans le secteur du bâtiment. Dans ce processus, la reconstruction ou la construction neuve d'un nombre énorme de logements a totalement ignoré les matériaux et les cultures constructives traditionnelles, même dans les zones rurales.

A la même époque, dans les pays en développement, pour lesquels le développement consistait à suivre la direction prise par les pays industrialisés, le déclin de la construction en terre allait aussi s'engager inéluctablement. Il s'amplifiait avec l'indépendance des pays vis-à-vis des nations colonisatrices (années 1960) alors que le monde connaissait une forte croissance démographique et économique.

Le processus d'industrialisation et de modernisation a commencé à se renverser avec les années 1970 comme conséquence des chocs pétroliers de 1973 et 1979, puis à la fin des années 1980 et au début des années 1990, quand la situation économique devenait moins favorable mais aussi pour des raisons liées à une « crise de la modernité ». Cette crise a conduit à une recherche de solutions alternatives au développement dont le concept et les formes d'application étaient alors fortement critiquées par la pensée post-structuraliste (« défaire le développement pour refaire le monde »). Mais aussi parce que l'on commençait à prendre une plus juste mesure des impacts négatifs du développement et de l'économie de croissance sur la préservation de l'environnement et la qualité du climat social, sur le « coût social » de ce modèle de développement.

Dans les pays en développement, la dégradation de l'économie et des conditions de vie des populations défavorisées a eu un impact direct sur la recherche de nouveaux modes de construction accessibles et endogènes qui seraient en mesure de donner davantage d'autonomie vis-à-vis des pays industrialisés. Ainsi, à partir de la fin des années 1980, on peut observer un réel retour en force de la construction en terre qui implique de plus en plus d'acteurs à la fois dans les secteurs publics et privés.

Dans les pays industrialisés on s'est à nouveau rendu compte que la construction en terre faisait partie des traditions et que le patrimoine bâti avait passé le temps sans dommage majeur. On constatait que ces techniques de construction offraient aussi de nombreux avantages environnementaux que les techniques « industrielles » n'avaient pas forcément. Parmi ces avantages on retenait notamment : la réduction des consommations d'énergie, la facilité de recyclage, les performances thermiques telles qu'inertie, isolation et régulation hygrométrique du confort intérieur, la salubrité des matériaux pour un habitat sain. On relevait aussi la grande souplesse d'utilisation constructive des techniques de construction en terre pour réaliser des murs porteurs, des remplissages d'ossatures ou des enduits. On redécouvrait la forte capacité d'adaptation de ces techniques de construction en terre à un très large éventail de territoires aux ressources naturelles et aux climats variés, et leur grande diversité culturelle.

Pour toutes ces raisons, dans les pays industrialisés, la construction en terre est redevenue une possibilité réelle. Ainsi, aux Etats-Unis, en Australie et en Europe, un renouveau s'est opéré à partir des années 1980 qui s'est appuyé sur un environnement social mettant de plus en plus l'écologie au cœur de ses préoccupations et centres d'intérêt. En Allemagne, en Suisse, dans les pays scandinaves – Norvège, Suède, Finlande – ce mouvement a progressivement étendu son impact sur les milieux professionnels en gagnant le secteur des entreprises, des professions du bâtiment (architectes, ingénieurs, maîtres d'ouvrages privés et publics), mais aussi sur le milieu de la restauration des patrimoines architecturaux. Près de trente années se sont écoulées et, dans les pays européens comme aux Etats-Unis ou en Australie, un réseau très étendu de professionnels centre ses activités sur la construction en terre. Cette situation porte une demande de plus en plus soutenue pour des outils mieux adaptés et notamment pour des certifications sur les matériaux, un contrôle de qualité de la production et de la construction, pour des normes.

Les premières normes écrites pour la construction en terre, selon la signification « moderne » que l'on donne à cette notion de norme, semblent avoir été produites par les Allemands avec la « *Lehmbau Ordnung* », datée de 1944, puis par les Français, avec trois textes intégrés en 1945 au registre des normes françaises (REEF)³⁴. Ces documents étaient presque aussitôt suivis de la norme allemande DIN 1169, en 1947, puis par les normes DIN 18951 à DIN 18957 qui étaient élaborées entre 1951 et 1956³⁵.

³⁴ Normes françaises et recommandations :

- Constructions en béton de terre, REEF. DTC n°2101, CSTB, Paris, France, 1945.
- Béton de terre stabilisé aux liants hydrauliques, REEF. DTC n°2102, CSTB, Paris, France, 1945.
- Béton de terre et béton de terre stabilisé, REEF. DTC n° 2001, CSTB, Paris, France, 1945.

³⁵ Liste des normes allemandes produites après la Seconde Guerre Mondiale:

- *Lehmmörtel für Mauerwerk und Putz*. DIN 1169, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1947.
- *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951.
- *Lehmbauten. Vorschriften für die Ausführung. Erläuterungen*. DIN 18951. Blatt 2, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951.
- *Lehmbau. Lehm als Baustoff*. DIN 18952, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951.
- *Lehmbauten. Vorschriften für die Ausführung*. DIN 18951. Blatt 1, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951.
- *Lehmbau. Eigenschaften, Bauarten, Anwendungsbereich*. DIN 18953, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951.
- *Lehmbau. Baulehm. Begriffe. Arten*. DIN 18952. Blatt 1, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Verwendung von Baulehm*. DIN 18953. Blatt 1, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Gemauerte Lehmwände*. DIN 18953. Blatt 2, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Gestampfte Lehmwände*. DIN 18953. Blatt 3, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Gewellte Lehmwände*. DIN 18953. Blatt 4, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Leichtlehmwände in gerippebauten*. DIN 18953. Blatt 5, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Prüfung von Baulehm*. DIN 18952. Blatt 2, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Lehmfußböden*. DIN 18953. Blatt 6, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Ausführung von Lehmbauten. Richtlinien*. DIN 18954, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Baulehm. Lehmbauteile. Feuchtigkeitsschutz*. DIN 18955, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Putz auf Lehmbauteilen*. DIN 18956, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.
- *Lehmbau. Lehmschindeldach*. DIN 18957, DIN, *Lehmbau*. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956.

Ce n'est que près de vingt ans plus tard que d'autres normes sur la construction en terre ont été écrites dans d'autres pays comme l'Inde ou le Pérou. Et il a fallu attendre encore 20 ans pour que l'on observe de nouvelles tentatives sérieuses visant à normaliser la construction en terre, dans les années 1990. Depuis, plusieurs pays ont pris une telle initiative et disposent aujourd'hui de textes normatifs qui couvrent un large ensemble de sujets tels que la terminologie, les classifications, la caractérisation des matériaux, les techniques de production, les modes de construction, les procédures d'essais. Les principales techniques concernées par les plus récents travaux normatifs sont le Bloc de terre comprimée (BTC) et le pisé qui se sont considérablement développées comme on l'a précédemment relevé.

Aujourd'hui, plusieurs pays sont en train d'élaborer leurs normes de construction en terre ou les ont déjà publiées : Afrique du Sud, Algérie, Arabie Saoudite, Australie, Brésil, Burkina Faso, Cameroun, Tchad, Cuba, Etats-Unis, Ethiopie, France, Allemagne, Ghana, Inde, Côte d'Ivoire, Kenya, Madagascar, Mali, Mexique, Moldavie, Maroc, Nouvelle Zélande, Nigeria, Pérou, Suisse, Togo, Tunisie, Turquie, Zimbabwe. Il existe également des textes normatifs spécifiques pour la construction en terre dans plusieurs pays exposés au risque sismique. En 1998, notre laboratoire CRATerre faisait le point sur cette situation normative dans le monde³⁶. On distinguait alors l'existence de documents « officiels », soit de nature institutionnelle et publique, des documents « professionnels », pour la plupart sous forme de spécifications techniques édités par des corporations de métiers (architectes, entreprises, centres de recherche et développement) destinés à servir de référence pour des documents de projet, des documents de travail et des propositions préliminaires de textes confirmant l'engagement d'un processus visant à éditer un texte normatif pour la construction en terre. Voici la synthèse de la situation normative mondiale qui était alors publiée sous forme de tableaux, au niveau international (textes issus de grandes organisations), et au niveau régional, pour l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Europe, l'Orient, les régions australes et l'Asie, et l'Afrique. Les textes sont référencés dans la bibliographie de ce rapport.

³⁶ **CRATerre Rigassi 1998** : RIGASSI (V) – *Cahier sur la normalisation de l'architecture de terre*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, 1998, 27 p., tableaux, pp. 21-24.

INTERNATIONAL		TECHNIQUES							NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS		
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
AFRIQUE	1997			■				■	■	■	■	■	■	■	■		
AMÉRIQUE DU SUD	1995	●		●	●			●	●			●	●				
INTERNATIONAL	1995 1996	◆		●									●	◆	◆	◆	◆

■ DOCUMENT OFFICIEL

◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL

● DOCUMENT DE TRAVAIL

▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE

AMÉRIQUE DU NORD		TECHNIQUES							NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS		
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
ÉTATS-UNIS	1945			●							●			●			
	1973				■						■		■				
	1995	■		■	■			■			■	■	■				■

■ DOCUMENT OFFICIEL

◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL

● DOCUMENT DE TRAVAIL

▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE

AMÉRIQUE DU SUD		TECHNIQUES						NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS			
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN ŒUVRE	FABRICATION	MISE EN ŒUVRE
BRÉSIL	1984			■							■		■	■			
	1989																
	1994																
CUBA	1991			●								●	●	●			
MEXIQUE	1984				▲							▲	▲		▲		
PEROU	1974				●							●					
	1977			■	■				■			■					
	1985				■			■	■			■	■				
<p>■ DOCUMENT OFFICIEL ◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL ● DOCUMENT DE TRAVAIL ▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE</p>																	

EUROPE		TECHNIQUES						NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS			
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN ŒUVRE	FABRICATION	MISE EN ŒUVRE
FRANCE	1945	■		■							■	■	■	■	■		
	1982	●		●	●	●		●	●		●	●		●	●	●	●
ALLEMAGNE	1944	■	■		■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
	1947							■					■	■	■		
	1951	■	■	■			■		■	■			■	■	■		
	1951 1956	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
	1997	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲		
SUISSE	1994	◆			◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆		◆	◆		
<p>■ DOCUMENT OFFICIEL ◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL ● DOCUMENT DE TRAVAIL ▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE</p>																	

ORIENT - AUSTRAL - ASIE		TECHNIQUES							NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS		
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
AUSTRALIE	1987	●		●	●						●	●	●		●		●
	1990	■		■	■							●					
INDE	1960 1982			■	■					■	■		■				
	1962 1967 1980							■	■		■			■	■		
	1993	■	■		■			■		■	■	■					
	-	▲			▲						▲	▲		▲	▲		▲
ARABIE SAOUDITE	1986				●					●	●	●					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>■ DOCUMENT OFFICIEL</p> <p>◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL</p> <p>● DOCUMENT DE TRAVAIL</p> <p>▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE</p> </div>																	

AFRIQUE		TECHNIQUES							NORMES				SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS		
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
ALGÉRIE	1988			◆						◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆
	1992			▲							▲		▲				
BURKINA FASO	1996			▲				▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
CAMEROUN	1992			▲					▲	▲	▲		▲	▲	▲		
TCHAD	1989			●							●	●	●				
COTE D'IVOIRE	1980			▲					▲		▲	▲	▲	▲	▲		
	1986			▲					▲	▲	▲						
	1993			▲					▲	▲	▲		▲				
	1994			■					■	■	■						
	1994			■									■				

AFRIQUE (SUITE)		TECHNIQUES							NORMES					SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS	
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
GHANA	1988		■												■		
	1988			●							●		●	●	●		
	1990			▲							▲			▲			
KENYA	1989			▲					▲	▲			▲	▲			
	1992			■					■	■			■				
MADAGASCAR	1986			●						●	●	●		●			
MALI	1985			●	●			●		●	●						
	1989			●						●							
MAROC	1985 1986			●						●	●		●	●			
	1990			●						●	●		●	●			
AFRIQUE DU SUD	1990			■						■				■		■	
	1996			■						■				■		■	

AFRIQUE (SUITE)		TECHNIQUES							NORMES					SPECIFICATIONS		RECOMMANDATIONS	
PAYS	ANNÉE	TERRE DAMÉE	BAUGE	BLOC DE TERRE COMPRIMÉE	ADOBE	TERRE LÉGÈRE	TORCHIS	AUTRE	TERMINOLOGIE	CLASSIFICATION	COMPOSANT	ELEMENT	ESSAI	FABRICATION	MISE EN OEUVRE	FABRICATION	MISE EN OEUVRE
TOGO	1990			■							■		■				
	1992			●									●		●		●
TUNISIE	1989			▲						▲	▲		▲				
ZIMBABWE	1977			■								■					

■ DOCUMENT OFFICIEL

◆ DOCUMENT PROFESSIONNEL

● DOCUMENT DE TRAVAIL

▲ PROPOSITION PRÉLIMINAIRE

Les engagements actuels en faveur de la construction et de l'architecture en terre, au Nord comme au Sud, sont de plus en plus confirmés. Ils devraient faire rapidement évoluer cette question des normes et combler le déficit de textes qui existe encore dans plusieurs pays. Cette évolution nécessaire ne peut sans doute être portée plus en avant qu'en instruisant la question normative au niveau international.

2.6. - Le renouveau mondial de l'architecture de terre

Ce que l'on a précédemment évoqué montre qu'un renouveau international de la construction et de l'architecture en terre s'est engagé sur une trajectoire historique de trente années, avec des étapes décisives. Désormais, le monde « global » affronte de nouvelles difficultés : diminution des énergies fossiles et des ressources renouvelables, pollutions, effet de serre et production d'oxyde de carbone, changement climatique global, crise de société, crise financière et économique... Le futur de la planète et des espèces est fondamentalement questionné. Dans une telle situation, depuis la publication du rapport de la Commission Brundtland « *Our Common Future* » (1987), depuis le Sommet de Rio (1992) qui a conduit à l'Agenda 21, à une Convention sur la Diversité Biologique puis au Protocole de Kyoto (mai 2002), la nécessité de plus en plus drastique de réduction de la consommation des matériaux de construction modernes (béton, acier, aluminium), ouvre de nouvelles opportunités et conditions réalistes pour une extension de ce renouveau international des architectures de terre et des matériaux de construction « naturels ». Certes, ces matériaux anciens, employés par l'humanité depuis des millénaires, paraissent peu adaptés pour la construction des « gratte-ciels » ou des « tours vertes » de nos futures villes verticales. Ils offrent pourtant un très fort potentiel de réduction des énergies grises de production et des énergies de fonctionnement et d'entretien des bâtiments grâce à leurs propriétés d'inertie thermique ou de régulation des échanges hygrométrique (murs massifs en terre ou en pierre, enduits en terre), ou d'isolation (chanvre, fibres diverses). Ce potentiel peut être exploité dans une nouvelle architecture contemporaine qui associe ces matériaux traditionnels aux matériaux modernes en donnant naissance à un « remix » des cultures constructives, à une nouvelle forme « d'éclectisme » de ces cultures qui a de tout temps existé. Cette nouvelle architecture reste à inventer en répondant aux défis que posent la meilleure gestion du processus inéluctable d'urbanisation, de contrôle de l'extension horizontale des tissus urbains consommateurs de territoire, de recherches de nouvelles échelles de la densité du bâti, et de réduction des énergies et ressources rares. Ces matériaux naturels et leurs propriétés seront inévitablement associés à la production de cette nouvelle architecture urbaine et urbaine, à la fois « active » et « passive », qu'il nous faudra aussi relier à l'aménagement des territoires ruraux afin de réduire le fossé qui se creuse entre les unes et les autres. Ces matériaux, aisément accessibles, offrent aussi d'autres avantages, notamment pour préserver des processus culturels de participation de la société civile à la production de son cadre bâti en soutenant le développement de filières locales plus « courtes » et les démarches d'autoproduction des matériaux et d'auto construction. Comme cela existe encore en de nombreuses régions du monde où les cultures constructives des sociétés locales demeurent vivantes. Beaucoup de conditions favorables au renouveau et à l'extension de telles pratiques, notamment de nature sociale, économique et culturelle, sont réunies pour accompagner cette naissance d'une

nouvelle architecture « éco-responsable ». Dans cette perspective, l'architecture de terre, repensée au prisme de ces nouveaux défis planétaires, retrouvera indubitablement sa place dans l'espace de la conception et dans le paysage de la construction.

3 – La situation des architectures de terre en République de Corée

3.1. - Nos sources d'information

Cette synthèse de la situation actuelle des architectures de terre en République de Corée est principalement fondée sur des contributions qui nous ont été apportées par les partenaires coréens de cette recherche.

Les premières informations dont nous avons disposées étaient apportées par l'architecte Geun Shik SHIN³⁷ et par l'ingénieur Minchol CHO, qui ont tous les deux suivi notre formation de post-master de DSA-Terre. Ces informations ont été ensuite complétées par trois présentations successives préparées par nos partenaires coréens :

- une première présentation réalisée par le Professeur Heyzoo HWANG, à l'occasion d'une première réunion de travail qui s'est tenue à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (ENSAG), le 30 octobre 2007 ;
- une deuxième et plus récente présentation, proposée par l'ingénieur Minchol CHO en date du 23 septembre 2008, au laboratoire CRATerre-ENSAG ;
- une troisième présentation du Professeur Heyzoo HWANG, à l'occasion du tout récent séminaire de travail conjoint entre partenaires français et coréens de cette recherche, en date du 7 octobre 2008.

Puis, l'atelier de travail conjoint du 7 octobre 2008, qui s'est focalisé sur l'analyse du contexte coréen, complété par une contribution écrite envoyée par le Professeur HWANG en fin d'octobre 2008, ont précisé les informations sur le contexte coréen et la situation de la construction et de l'architecture en terre dans le pays.

De cette littérature de mémoires de diplômés, de rares articles scientifiques auxquels nous avons eu accès, de ces présentations orales et de ces échanges entre partenaires, nous sommes en mesure de relever trois niveaux d'information :

1. une information générale sur les conditions de la construction en terre en République de Corée ;
2. une information générale sur les activités récemment développées, depuis une dizaine d'années, dans les domaines de la recherche scientifique, des expérimentations et applications innovantes sur projets d'architecture, et de l'éducation ;
3. une analyse des forces et faiblesses, opportunités et menaces dans le secteur de la construction et de l'architecture en terre, en République de Corée.

Nous restituons ci-après l'ensemble de cette information disponible sur le pays.

³⁷ Notamment avec ses diplômés de DSA-Terre et d'architecte diplômé par le gouvernement français.

3.2. – Brève synthèse sur le contexte coréen

Une très ancienne tradition remarquable d'architecture de terre

Les données sur l'architecture de terre en Corée sont peu accessibles bien qu'il existe sans doute une littérature scientifique et d'études couvrant les architectures vernaculaires et monumentales de ce pays. Cette littérature reste peu diffusée et contenue dans l'espace du pays, dans les bibliothèques universitaires. Etant peu traduite en langues étrangères, elle est de ce fait encore peu exploitable par ceux qui ne maîtrisent pas la langue. Nous savons pourtant qu'il existe une longue tradition d'emploi de la terre en construction enracinée dans les cultures constructives du territoire depuis les époques néolithiques, comme en témoigne le « *umjip* » préhistorique qui a été mis au jour par les archéologues à *Hogoktong*, *Musan*, au nord *Hamgyŏng*. Depuis des millénaires et au cours des siècles, l'emploi traditionnel de la terre crue a livré une architecture très riche et diverse faite de bois et de terre (torchis), construite en briques crues ou en pisé. Comme pour d'autres traditions, le matériau était utilisé en remplissage ou en recouvrement de structures en bois et tressages de végétaux, les briques étaient produites à l'aide de moules en bois de type commun à d'autres régions du monde, ou il était comprimé dans des coffrages en bois au moyen de lourdes pierres ou de lourds blocs en bois que l'on appelait « *dalgo* » que l'on manipulait au moyen de cordes fixées sur le bloc de bois. Plus récemment le pisé était réalisé avec des fouloirs en bois munis d'un manche. La culture constructive en terre de Corée, qu'elle soit ou non associée à la construction en bois très présente dans le pays a aussi délivré un magnifique patrimoine monumental. Des temples, comme le célèbre Palais de *Gyongbokgung*, proche de Séoul, construit par le souverain *Taejo* en 1394, ou le Temple bouddhique *Bulgug-sa*, ou encore le complexe palatial de *Chandeokgung* dont la construction a été ordonnée par l'empereur *Taejong* en 1405, site du Patrimoine Mondial de l'UNESCO classé en 1997. On connaît aussi les tombes royales de la Dynastie Joseon (1392-1910), les *Neungs* des rois et des reines, et les *Wons* des princes, de leurs épouses et de la parenté royale. Ils se présentent sous la forme de grands dômes en terre couverts de gazon. La grande majorité de ces tombeaux sont situés non loin de Séoul (l'ancienne capitale de *Hanyang*) dans un rayon de 40 km. Il existe aussi une grande tradition de demeures aristocratiques et d'habitat populaire dans la grande majorité des territoires du pays. On connaît mieux par exemple le village de *Yangdong* qui est situé au Nord-est de la cité de *Gyeongju*, ancienne capitale du Royaume *Silla*, le long du fleuve *Hyeongsang*, village traditionnel de la *Dynastie Choson*. Ce village est considéré comme un important patrimoine du folklore coréen dont l'origine remonte aux époques de *Son So* (1433-1484) qui épousa une fille de *Yu Bok* et qui construisit la première demeure de la famille *Wolseong Son* sur un site favorable répondant aux critères et logiques de la géomancie. La topographie du site, entre vallée et pentes des montagnes, la typologie du village expriment clairement les caractéristiques de l'habitat dynastique et aristocratique Choson (le *yangban*), avec les demeures des souverains et de leurs descendants sur les pentes, et les maisons populaires dans la plaine cultivée. Un système de société hautement stratifiée et basée sur le statut des classes. Le village de *Yangdong* a conservé ce système d'organisation et sa culture depuis le XV^{ème} siècle. On connaît aussi le village traditionnel de *Hahoe*, dans le *Andong*, de type communautaire qui a été créé par les familles du clan *P'ungsan* depuis le XVI^{ème} siècle durant la période

intermédiaire de la même dynastie *Choson*. Ce village est situé sur une berge du *Hwach'on*, un affluent du fleuve *Naktonggang*, en proximité des monts de *Namsan* et *Irwolsan*, au sud, et des falaises de *Puyongdae* au nord. Là aussi, l'implantation a suivi les principes géomantiques du *p'ungsu* (l'eau et le vent) et le village présente une forme de « fleur de lotus flottant sur l'eau » ou « *ttaeguk* ». Les vieilles habitations en terre couvertes de toitures en bûches de chaume et l'école confucéenne sont préservés et intacts ainsi que de nombreux autres édifices anciens. Tous ces ensembles sont des biens culturels administrés par le gouvernement de la République de Corée³⁸, sont classés sur la liste des monuments nationaux, par l'UNESCO (*Chandeokgung*) ou entrés sur la liste indicative de classement.

Cette magnifique tradition d'architecture de terre de Corée devrait être davantage étudiée pour délivrer une analyse des spécificités de la culture constructive en terre du pays. Mais aussi pour valoriser ses diversités régionales et locales, particulièrement sur les aspects qui relient cette architecture et le territoire (matériaux, environnement géophysique et climatique, économie et société). Mais encore pour restituer les valeurs culturelles de cette architecture sur lesquelles la nation semble actuellement porter un nouvel intérêt après une époque très rapide de développement moderne et d'intense croissance.

Les raisons d'un renouveau dynamique des architectures de terre en République de Corée

Il est important de considérer et éclaircir, dans le cadre de cette recherche, les récentes tendances d'un renouveau de l'architecture de terre en République de Corée. Le pays s'est engagé sur une nouvelle trajectoire historique depuis la fin du XX^{ème} siècle (fin des années 1990). Ce mouvement est clairement exprimé par le récent développement d'une architecture de terre contemporaine mais aussi, semble-t-il, par un soin accordé à l'entretien du patrimoine vernaculaire ou à sa restauration. Ainsi, plusieurs vecteurs dynamiques et processus soutiennent et accompagnent cette tendance :

- les effets d'un processus « transculturel », international et global, dans le secteur de la production architecturale et urbaine ; ces effets ont des impacts directs sur un pays qui s'est récemment, et rapidement, engagé dans un processus de modernisation au cœur de cette globalisation ;
- en conséquence, s'est accru le risque de réduction de la valeur culturelle de l'histoire architecturale coréenne et de son identité, le risque de création de « rareté » culturelle ;
- une plus claire conscience politique et sociale, au sein des institutions leaders de la recherche (principalement les universités), dans le milieu professionnel mondial et au sein d'une nouvelle génération d'architectes et d'ingénieurs, de l'évolution écologique globale ; l'avènement d'une situation qui montre une perte d'accessibilité aux sources d'énergie fossile conventionnelle (le pic de pétrole de

³⁸ Source : <http://whc.unesco.org/fr/listesindicatives/1639/> pour Yangdong ; <http://whc.unesco.org/fr/listesindicatives/1106/> pour le village de Hahoe dans le Andong ; <http://whc.unesco.org/en/list/816> pour le complexe palatial de Chandeokgung.

Hubbert³⁹) et aux ressources renouvelables qui sont de plus en plus rares et chères, particulièrement dans une situation de dépendance⁴⁰ ; une récente marée noire, au début de décembre 2007, avec ses pollutions dramatiques a renforcé la volonté sociale et politique d'explorer des solutions alternative pour réduire la dépendance du pays au pétrole ;

- l'impact global sur la santé physique et mentale de la population de la conception et production architecturale et urbaine actuelles (stress et pollution) qui invite à porter une nouvelle attention aux matériaux naturels et à d'autres échelles du cadre bâti ; mais aussi à de nouveaux phénomènes migratoires de la ville vers les périphéries et les campagnes ;
- l'évolution sociale sur les question d'accessibilité économique au logement pour davantage de personnes et familles à bas revenus qui s'endettent avec des crédits bancaires pour une plus longue période de leur vie ; cette situation résulte d'un coût de plus en plus élevé du terrain constructible (spéculation) et de la construction qui mobilise essentiellement les matériaux et les technologies modernes conventionnelles (béton armé, acier, verre, composants dérivés de l'industrie pétrolière) exploitant des ressources de plus en plus rares, et forts consommateurs d'énergies « grises » dans les processus de production et de construction ; sur ce terrain, la crise récente des « *subprimes* » et de la titrisation, aux Etats-Unis, avec ses conséquences internationales, a des impacts encore plus dramatiques ;
- les technologies modernes qui ont été développées pour faire face à une production et une consommation de masse de la société semblent avoir atteint leurs limites ; la production post-fordiste restaure la possibilité d'une production en plus faible quantités pour une diversité de réponses technologiques et économiques aux nouvelles attentes de la société ;
- l'évidence d'un processus progressif de changement climatique global impose la recherche d'alternatives pour l'habitat, particulièrement sur le contrôle des ambiances thermiques (chauffage et air conditionné) ; ces nouvelles solutions ne peuvent pas être seulement apportées par les approches technoscientifiques et économiques qui contribuent à promouvoir, en application du principe de la destruction créative permanente⁴¹, davantage de rareté et de réponses sophistiquées et coûteuses ; on ne peut pas faire du développement durable avec les instruments du développement non durable ;
- la perspective urbaine, et son paysage vertical, ne peut être une fatalité ; il y a certainement place pour d'autres échelles – technique, économique, humaine et culturelle – et pour de nouvelles approches de la densité architecturale et

³⁹ Le géophysicien Marion King Hubbert suggéra dans les années 1940 que la courbe de production du pétrole adoptait une forme en cloche. Cette courbe passe par un maximum, où elle est relativement symétrique, indiquant que la production décline forcément par la suite. Hubbert en déduisit que la production de pétrole américaine (48 États) passerait par un maximum en 1970, ce qui arriva effectivement en 1971.

⁴⁰ La République de Corée est aujourd'hui considérée comme le 5^{ème} pays importateur de pétrole du monde, particulièrement depuis l'Algérie. Sa consommation annuelle, selon les statistiques de l'année 2004, atteignait 213 050 kilotonnes de pétrole (source : statistiques pédagogiques de l'Université de Sherbrooke). La question du pétrole est particulièrement stratégique pour la Corée qui vise à installer une plateforme de commerce du pétrole dans la région d'Asie où l'on consomme près de 20% des hydrocarbures du monde. Cette demande correspond à plus de 14 millions de barils par jour. La Corée consommait à elle seule 2 263 000 barils par jour en cette même année 2004.

⁴¹ Théorie de l'économiste allemand Joseph Schumpeter.

urbaine ; les « tours vertes » et les « nanotours » (tours à nombre limité d'étages), ouvrent une nouvelle voie ;

- la question de l'écart croissant entre l'urbanité et la ruralité devient de plus en plus cruciale ; dans cette direction, au cœur du nouveau paradigme environnemental, les leçons que l'on peut tirer des traditions architecturales (architectures vernaculaires, villages et bourgs) sont beaucoup mieux considérées et analysées ; elles devraient permettre une réinterprétation de formes anciennes d'intelligence de l'aménagement des territoires pour la production d'une architecture et d'un urbanisme contemporains à échelle environnementale et humaine ; un nouveau concept, celui « d'habitat d'intérêt culturel » est en train d'émerger
- la conscience de plus en plus forte de la nécessité de plus de partage et de solidarité avec les populations démunies du monde, particulièrement avec les peuples du « Grand Sud » ; pour faciliter un meilleur accès à l'habitat et une solvabilité des besoins fondamentaux (alimentation, santé, éducation), dans le cadre de processus de développement local en mesure d'améliorer les conditions de vie et plus respectueux des environnements, des identités locales et de la diversité culturelle ; dans ce cadre, la construction en terre présente un fort potentiel pour contribuer à l'éradication de la pauvreté.

Face à cette nouvelle situation internationale et à ses expressions régionales et locales, la République de Corée a engagé un processus de recherche de réponses alternatives dans le domaine de la construction et de l'architecture en terre. Ce processus est soutenu par un important effort de recherche, d'expérimentation et d'innovations constructives et architecturales. Les informations dont nous disposons⁴², bien que limitées, montrent que cette évolution prend forme, avec :

- une excellence des récentes réalisations d'architecture en terre contemporaine ;
- un investissement substantiel de l'université coréenne - particulièrement de la part du Département d'Architecture de l'Université de Mokpo – dans un programme de recherche scientifique et architecturale, comme dans le domaine de l'enseignement supérieur ;
- la récente création d'un Institut de la Construction en Terre de Corée qui joue un rôle décisif pour défendre et promouvoir ce renouveau de l'architecture de terre dans le pays.

Quelques projets d'architecture de terre récemment réalisés en Corée

Bien que nous ne disposions pas d'une pleine information sur les récentes réalisations architecturales dans le pays, nous sommes en mesure de relever celles

⁴² Sources :

- **Shin 2000** : SHIN, Geun-Shik – *L'architecture en terre coréenne : le passé et le présent*, mémoire de D.P.E.A.-Terre 1998-2000, Ecole d'Architecture de Grenoble (EAG), France, Juin 2000, 43 p.
- **Department of Architecture Mokpo National University 2006** : KIM, Jungkyu, KIM, Jimin, CHOI, Il, OH, Yangki, HWANG, Heyzoo, RYU, Changgyun, ROH, Teahak – *2006 Earth Architecture Activities in DOA-MNU*, juillet 2006, 12 p. (photographs).
- **MOKPO National University Architecture 2006** : *Earth Construction – Summer Workshop – 2 – 11 août 2006*, 23 p. et copie de plusieurs articles parus dans des magazines coréens.
- **Shin 2007** : SHIN, Geun-Shik – *Architerre ; expérimentation et cultures constructives*, mémoire de TPFE pour l'obtention du diplôme d'architecte, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (ENSAG), France, juin 2007, 64 p.

qui ont été récemment produites par l'architecte Geun Shik SHIN qui a été formé dans le post-master spécialisé de notre Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble depuis l'année 1998 et qui a été ensuite associé aux activités de recherche de notre laboratoire, jusqu'en 2007. L'architecte SHIN, a développé ses premiers projets mettant en application la technologie de construction en terre au cours de l'année 1999, en association avec le bureau *Guyon Architects Associates* (Jeaong Guyon). Il a aussi travaillé comme contrôleur de chantier pour l'entreprise *Kyeong An Construction* (Jeon Jae Seong)⁴³. Depuis lors, il a conduit la réalisation de plusieurs projets dont, parmi ceux qui nous sont documentés :

- la maison Gouinhún à Youngwol (1999) ;
- la « maison au prunier » à Chuncheon (2000) ;
- la biennale de Gwangju (2000) ;
- un presbytère à Yeong cheon (2001) ;
- une maison à Sancheong (2005) ;
- une maison à Inbi-iri Gigye-myeon (2006) ;
- une école à Jecheon (2007).

L'approche originale qui s'est successivement confirmée par ces projets d'architecture en terre réalisés par Jeong Guyon Architects Associates, Geun Shik Shin et SPE&C Construction, peut être résumée de la façon suivante :

- l'intégration d'une culture constructive en terre, traditionnelle et récente, particulièrement en application des techniques du pisé et des blocs de terre comprimée, pour la production d'une architecture de terre véritablement contemporaine ; cette approche valorise le meilleur potentiel de ces techniques dans la conception et la qualité des structures, de l'espace et de l'architecture, tout en essayant de définir un nouveau compromis par ses associations aux matériaux et techniques actuelles, béton, acier et structures en bois ;
- la recherche créative et innovante pour une nouvelle technologie de construction en terre, autant pour des raisons économiques (productivité et coûts) que pour des raisons purement techniques (facilité et rapidité du processus de construction) ; cette approche a conduit à inventer des procédés très intelligents et novateurs notamment en conception et expérimentation d'outils de chantiers plus performants : nouveaux types de coffrages en joues de contreplaqué et raidisseurs en chevrons de bois, malaxeurs à mortier planétaire, et bien d'autres outils ;
- un design architectural qui exprime un sentiment de simplicité, d'humilité et d'harmonie, enraciné et intégré dans le paysage naturel ; plus encore, le traitement des espaces créant une relation visuelle et sensible entre l'intérieur et l'extérieur, entre l'homme et la nature ; dans cette approche, la valorisation de la texture de la matière et de ses couleurs joue un grand rôle pour l'obtention d'une qualité visuelle qui profite d'une très bonne connaissance et maîtrise du matériau terre ;

⁴³ Le nom de cette entreprise, sous la direction de Jeon Jae Seong a été changé en SPE&C Construction, en 2001.

- une récente approche créative du design pour un habitat économique en pisé, blocs de terre comprimée et ossature en acier (maisons à Inbi-iri Gigye-myeon, 2006).

La forte mobilisation du Département d'Architecture de l'Université Nationale de Mokpo

Simultanément, au cours des dernières années, le très fort investissement du Département d'Architecture de l'Université Nationale de Mokpo dans le renouveau de la construction et de l'architecture en terre a conduit à la création d'une équipe de recherche, *Architecture Community of Terra* (ACT), et de l'Institut de la Construction en Terre de Corée (EIK). Cela est d'une importance capitale. Cette direction a été engagée au cours de l'année 2002 avec la réorganisation du Département d'Architecture qui a abouti à l'intégration d'activités d'enseignement sur la construction et l'architecture en terre dans le curriculum des études étendu de 4 à 5 ans. L'année suivante, en 2003, cette évolution volontaire a conduit à la réalisation de deux films documentaires⁴⁴ de télévision qui étaient entièrement dévolus à l'architecture de terre. En 2006, le DOA-MNU se voit attribué trois distinctions pour l'architecture de terre. On peut ainsi apprécier des résultats impressionnants qui ont été obtenus en si peu de temps que nous informons plus précisément par après.

Enseignement universitaire :

Un enseignement spécifique, obligatoire, sur l'architecture de terre, a été créé et proposé par une équipe d'enseignants du Département d'Architecture de l'Université Nationale de Mokpo. Ce cours est pleinement intégré dans le programme d'enseignement de technologie architecturale, de la 1^{ère} à la 5^{ème} année des études :

- 1^{ère} année : introduction à l'architecture de terre ;
- 2^{ème} année : histoire de l'architecture de terre ;
- 3^{ème} année : expérimenter l'architecture de terre ;
- 4^{ème} année : concevoir l'architecture de terre ;
- 5^{ème} année : design architectural en terre et application.

Organisation d'ateliers d'été :

L'application d'une approche didactique valorisant l'heuristique de l'expérimentation est la clé de cette activité d'enseignement efficace. Tous les cours théoriques et les activités pratiques de ces ateliers sont associés à la construction d'un prototype construit à échelle grandeur qui démontre le potentiel de construction de matériaux naturels variés : bottes de paille, briques de terre, bauge, sacs remplis de terre, béton de terre coulé et éléments de construction en pisé (colonnes, murs trumeaux), et enduits en terre. Ainsi, les étudiants peuvent directement faire le lien entre la production des matériaux et la construction. Simultanément, ces ateliers d'été donnent aussi place à une approche historique et culturelle de la culture constructive et architecturale en terre de Corée, et à la visite de récentes réalisations. Les étudiants peuvent aussi développer une approche sensible et créative du matériau

⁴⁴ **Park & al. 2003** : PARK, Bong-Nam, JO et HYUN-KUNG (producteurs), PARK Sung-Ho et CHOI Suk-Un (direction), SHIN, Geun-Shik – *La Maison en terre*, vol. 1 : *Architecture en terre dans la culture et la civilisation*, vol. 2 : *Architecture en terre contemporaine*, Films de la Télévision Coréenne, 2 x 52 minutes, docukorea, 2003.

terre utilisé en décoration de surface (arts plastique). Ce programme, qui est réalisé sur un temps assez court, est une bonne initiation à la construction en terre dans une approche qui se veut holistique.

Cette démarche pédagogique est directement inspirée de la méthode d'enseignement et de l'expérience de l'Ecole Nationale Supérieure d'architecture de Grenoble (France) et de la Chaire UNESCO « Architecture de terre, culture constructive et développement durable » pilotée par le laboratoire de Recherche CRATerre-ENSAG. Elle associe la théorie à la pratique, mais aussi une nouvelle approche didactique par l'expérimentation développée aux cours de ces dix dernières années aux « Grands Ateliers » dans le cadre des enseignements de construction de cette école d'architecture, depuis la 1^{ère} année du cycle Licence à la 2^{ème} année du cycle Master, puis en formation d'approfondissement et de spécialisation du DSA-Terre. Les étudiants coréens qui ont suivi cette formation au cours de ces dernières années ont été le vecteur du transfert de cette méthode d'enseignement liant théorie et pratique par l'heuristique de l'expérimentation, en République de Corée. Les résultats observés sont particulièrement remarquables.

L'organisation d'événements scientifiques :

L'équipe du Département d'Architecture de l'Université de Mokpo (DOA-MNU) et l'Institut de la Construction en terre de Corée (EIK), ont aussi organisé des symposiums pour promouvoir le développement de la construction en terre dans le pays. Ces événements ont été plus spécifiquement dirigés vers un public de décideurs politiques, de professionnels du secteur industriel de la construction, d'étudiants en architecture et en ingénierie. Ils permettent à la fois une sensibilisation d'un plus large public et l'instruction d'un débat sociétal au carrefour des disciplines et des métiers.

Le développement très conséquent de la recherche scientifique et de la recherche-action :

Nous basant sur les présentations de nos partenaires coréens que l'on a précédemment référencées, trois ensembles de recherches scientifiques et de recherches-actions peuvent être identifiées :

1. Des recherches sur l'environnement de la construction en terre, avec :

- a) des études de comportement en laboratoire :
 - i. étude comparative du comportement d'êtres vivants (souris) vivant dans des espaces construits en terre et en béton ; ces études semblent montrer des variations pondérales dans l'un ou l'autre des espaces mais n'ont pas fait l'objet de conclusions médicales poussées ;
- b) des recherches sur l'efficacité énergétique :
 - i. construction de structures à haute efficacité énergétique ;
 - ii. impact des enduits en terre sur l'efficacité énergétique ;
 - iii. efficacité de l'isolation avec des matériaux de construction à base de terre.

- c) des recherches visant à améliorer la salubrité de l'environnement construit :
 - i. émission de polluants résultant de nouveaux matériaux ajoutés à la terre : formaldéhyde, par exemple ;
 - ii. ventilation des espaces ;
 - iii. conception de l'espace :
 - développement des enduits intérieurs en terre ;
 - recherches sur l'esthétique : textures et couleurs ;
 - confort thermique et contrôle hygrothermique.
2. Des recherches sur les matériaux de construction en terre : ces recherches visent à mieux intégrer le matériau terre à l'environnement moderne, à appliquer et améliorer la technologie traditionnelle ; elles visent en outre à améliorer la qualité du matériau terre plutôt que la technologie :
- a) identification des caractéristiques régionales des sols en République de Corée ;
 - b) amélioration du Module d'Elasticité du matériau terre ;
 - c) recherche sur les performances des matériaux de construction en terre :
 - i. tests sur les propriétés thermiques ;
 - ii. température et humidité ;
 - iii. rayonnement infrarouge ;
 - iv. désodorisation de l'espace.
 - d) réduction du taux de stabilisation chimique (ciment, résines) pour promouvoir l'emploi d'un matériau terre plus « naturel » ;
 - i. recherches sur d'autres types de stabilisants.
 - e) développement de la stabilisation à la chaux et autres adjuvants, en appliquant le principe de la réaction pouzzolanique pour produire des blocs de terre comprimée de haute densité, résistance et durabilité.
 - f) blocage de l'effet de poussière sur les enduits en terre au moyen de fixatifs projetés.
3. Des recherches et expérimentations sur les éléments et les méthodes de construction :
- a) sols en terre auto nivelant stabilisés à la chaux et autres composants inorganiques :
 - b) bardages intérieurs et extérieurs en panneaux de terre extrudés pour améliorer l'absorption et le blocage d'humidité, et pour le contrôle hygrométrique ;
 - c) développement de blocs de terre poreux pour améliorer l'absorption d'eau et le drainage (terrasses), pour obtenir une meilleure absorption d'eau et

du son (acoustique), et pour les terrasses végétales (croissance des plantes) ;

- d) béton de terre coulé : contrôle du retrait au séchage, amélioration de la densité et de la durabilité ;
- e) béton de terre renforcé (acier) pour des applications structurales ;
- f) éléments de construction en terre préfabriqués et technologie de construction mécanisée : gros blocs de pisé ou de bauge préfabriqués.

Orientations actuellement envisagées pour la recherche

Sur la base de l'expérience que l'on a précédemment synthétisée l'équipe coréenne du DOA-MNU entend porter ses efforts sur 3 directions principales :

1. La promotion de la construction en terre pour un environnement bâti plus sain :
 - a. réduire les charges et les impacts environnementaux de la construction ;
 - b. contrôler les pollutions résultant de l'industrie de la construction.
2. Promouvoir la construction en terre pour l'économie d'énergie :
 - a. matériaux et dispositifs d'isolation à base de terre ;
 - b. éléments et systèmes de construction en terre à basse énergie ;
 - c. design architectural à basse énergie.
3. Conserver l'esprit et les valeurs de la construction en terre : identité culturelle et continuité
 - a. promouvoir un design architectural approprié au monde moderne.

Pour développer ce programme le DOA-MNU en appelle à davantage de coopération internationale de façon à contribuer plus activement et efficacement au renouveau international des architectures de terre. Cette volonté de coopération a notamment amené le DOA-MNU à se rapprocher de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, de son laboratoire CRATerre-ENSAG et de la chaire UNESCO Architecture de terre. Dans un premier temps, en 2007, ces partenaires ont co-signé un premier *Memorandum of Understanding* (MOU) et viennent, au cours du mois d'octobre 2008, de définir une convention d'accord de partenariat académique et scientifique entre les deux institutions d'enseignement supérieur et de recherche.

3.3. – Analyse du potentiel actuel de la construction en terre dans le contexte Coréen : les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces

Le séminaire intermédiaire entre les deux partenaires de ce projet conjoint de recherche, qui s'est réuni à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble en date du 7 octobre 2008, au-delà de la présentation du rapport intermédiaire de recherche⁴⁵ et d'une discussion ayant suivi cette présentation, a permis de réaliser un atelier de travail. Cet atelier animé par l'équipe du CRATerre-ENSAG visait à mieux cerner les conditions et la situation actuelle du développement de la construction et de l'architecture en terre dans le contexte coréen. Pour cela une méthode de travail a été proposée aux partenaires coréens en présence⁴⁶, la méthode « SWOT » qui permet de mieux identifier les Forces (« S » ou *Strengths* »), les Faiblesses (« W » ou *Weaknesses*), les Opportunités (« O » ou *Opportunities*), et les Menaces (« T » ou *Threats*).

De cet atelier est ressorti un ensemble d'éléments permettant de mieux identifier le contexte coréen. Ces premiers éléments mériteraient d'être plus précisément analysés au moyen d'études scientifiques plus poussées mais ils permettent de repérer des tendances au sein de la société sud-coréenne. Ces tendances mieux identifiées permettraient de constituer le socle de future orientation pour un plan d'action dans le domaine de la recherche sur la construction et l'architecture en terre, en République de Corée.

Synthèse de l'analyse des « Forces »

L'analyse des forces du contexte coréen permet de relever les aspects et éléments suivants :

- le contexte de la République de Corée est doté d'une grande tradition d'architecture monumentale et rurale en terre ; il s'agit d'un patrimoine « noble » en bois et torchis, en pisé et en brique crue, ou encore en terre crue et terre cuite ; bien que son évidence physique soit de plus en plus réduite, cette tradition constitue toujours un socle fort de valeurs patrimoniales matérielles et immatérielles de référence pour la nation coréenne ;
- il existe un institut national spécialisé : l'Institut de la Construction en terre de Corée (EIK) ;
- cet Institut de la Construction en terre de Corée a constitué un réseau d'enseignants, chercheurs, de professionnels, d'acteurs du monde des industries et entreprises du secteur de la construction, dans le pays, tous mobilisés ou intéressés par un renouveau de la construction en terre ;
- il existe, au sein du Département d'Architecture de l'Université Nationale de Mokpo (DOA-MNU), une équipe spécialisée, de statut universitaire institutionnalisé : « *Architecture Community of Terra* » (ACT) ;

⁴⁵ Ce rapport a été présenté par le Professeur architecte Hubert Guillaud, directeur scientifique du laboratoire CRATerre-ENSAG : Guillaud 2008 : GUILLAUD (H) – *Earthen construction technology and architecture. Updating the state of the art and priority research trends proposals for Korea. Intermediate research report prepared for the seminar with Korean partners held at CRATerre-ENSAG research laboratory. On Tuesday 7th October 2008.* Editions CRATerre-ENSAG, Grenoble, France, octobre 2008, 87 p.

⁴⁶ Voir note n° 1.

- l'équipe « ACT », actuellement constituée de 12 enseignants-chercheurs et assistants (en octobre 2008), rassemble des membres (enseignants et chercheurs) dont les plus anciens ont 15 ans d'expérience dans le domaine ;
- des membres de cette équipe ont été formés dans l'unique formation de post-master spécialisé existant actuellement au monde : le DSA-Terre de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France ;
- cette équipe constitue à la fois une force dans le domaine de l'enseignement et des recherches spécialisés ; en effet, l'équipe « ACT » du DOA-MNU développe un programme de recherche consistant sur l'environnement construit, sur les matériaux et les techniques de construction en terre ;
- étant située dans le contexte universitaire, l'équipe « ACT » bénéficie d'un environnement de recherche interdisciplinaire ;
- l'équipe « ACT » dispose d'un laboratoire équipé ;
- les travaux et réalisations de cette équipe du DOA-MNU jouissent d'une bonne reconnaissance dans le contexte de l'Université de Mokpo ; le journal de l'Université a plusieurs fois valorisé ces réalisations d'une équipe « vedette » ;
- le DOA-MNU a institué un enseignement spécialisé, obligatoire, que suivent tous les étudiants, du cursus initial en architecture ;
- l'université de Mokpo a décidé de mettre à disposition un nouveau terrain de 3300 m² pour permettre au DOA-MNU de développer plus avant ses activités d'enseignement, recherche, expérimentation et innovation dans le domaine de la construction en terre ; ce terrain permettra notamment de développer de nouvelles expérimentations sur prototypes construits et évalués (protocole de suivi, de mesure et de validation).

Synthèse de l'analyse des « Faiblesses »

L'analyse des faiblesses du contexte coréen permet de relever les aspects et éléments suivants :

- l'équipe « ACT », compte tenu de l'ampleur des activités engagées dans les domaines de l'enseignement et de la recherche, des nombreuses tâches induites, et compte tenu des perspectives de développement de la construction et de l'architecture en terre, qui sont de plus en plus soutenues dans le monde et qui le seront sans doute en Corée, manque de ressources humaines ;
- les budgets de recherche alloués au développement des activités sur la construction et l'architecture de terre en Corée, demeurent très instables ;
- les politiques actuelles de la recherche, dans le secteur de la construction, ne donnent pas encore une priorité au développement de la construction et de l'architecture en terre ;
- depuis les années 1970, alors que la Corée s'engageait dans une étape décisive de développement « moderne », une grande partie du patrimoine architectural construit en bois et terre, ou en terre seule, a été abandonné ;
- ce patrimoine coréen bâti en terre, notamment en milieu rural, n'a plus fait l'objet d'un entretien et a été progressivement détruit ; seuls demeurent quelques rares exemples représentatifs de l'excellence de la Corée dans ce domaine patrimonial : ensembles vernaculaires de caractère aristocratique, par exemple ;
- les savoir-faire de la construction et de l'architecture de terre en Corée ne sont pas bien documentés ;

- les modes traditionnels de transmission des savoirs et savoir-faire de la construction en terre en Corée sont aujourd'hui désactivés.

Synthèse de l'analyse des « Opportunités »

L'analyse des opportunités liées au contexte coréen permet de relever plusieurs directions « porteuses », dans les domaines de la santé et du bien être liés aux conditions d'habitat, dans le domaine l'écologie, et dans un retour d'intérêt national pour la culture et les traditions. Relativement à ces domaines, on est en mesure de relever les aspects et éléments suivants :

- La République de Corée voit se développer une demande sociale pour un habitat plus sain ;
- près de 55% de la population coréenne vit aujourd'hui en appartement dans des immeubles et des tours ; les conditions de vie en milieu urbain de plus en plus dense et sujet à des pollutions environnementales invitent une partie de la population à préférer vivre hors les villes pour s'installer à la campagne ; le phénomène d'émigration du rural vers l'urbain que le pays a connu au cours des dernières décennies semble aujourd'hui opérer un renversement de l'urbain vers le rural ;
- l'argile est un matériau qui semble être de plus en plus associé à l'hygiène de vie et la santé et son emploi se développe dans le secteur de la cosmétique ;
- l'emploi de la terre argileuse est aussi de plus en plus apprécié par le public pour la réalisation d'enduits de revêtement intérieurs d'habitations, ou d'équipements publics (bains, saunas, par exemple) ;
- le marché de la construction en terre commence à être plus clairement identifié comme un marché « porteur » et un tissu d'entreprises spécialisées est en train de se constituer ;
- quelques régions du pays commencent à subventionner la restauration du patrimoine architectural vernaculaire construit en terre et des opérations de construction neuve ;
- si jusqu'à présent, les développements de la construction en terre en Corée ont été plus étroitement associés au développement de la technologie du bloc de terre comprimée, les architectes qui s'intéressent de plus près à la construction et l'architecture en terre semblent avoir une préférence pour la technique du « pisé » (béton de terre compactée en coffrages) ; en ce sens, ils s'inscrivent parfaitement dans une tendance internationale qui est déjà largement développée en Australie, Nouvelle Zélande, aux Etats-Unis et dans quelques pays européens engagés dans cette direction depuis près de deux décennies ;
- la ressource en matériau terre pour construire est considérable dans un pays dont le relief naturel est constitué de près de 70% de collines constituées de terre argileuse dont les conditions d'exploitation sont relativement aisées ;
- la République de Corée dispose de puissants atouts, notamment dans le secteur de l'industrie mécanique, pour développer un équipement de production propre au secteur de la construction en terre ;
- le pays est aussi le 5^{ème} producteur mondial de chaux, liant hydraulique parfaitement adapté pour les pratiques de stabilisation des terres argileuses avec de très bons résultats d'amélioration de la résistance mécanique que confirment les récentes recherches et applications constructives ;

- d'autres tendances de recherche liées à de nouvelles expérimentations et innovations montrent que l'architecture de qualité environnementale est actuellement en fort développement : des recherches sur la qualité de l'air, sur l'énergétique, sur le « bio » habitat ou l'habitat « amical » à l'environnement, des recherches visant à un meilleur contrôle des émissions en dioxyde de carbone (CO₂), des recherches sur l'énergie solaire, sur l'utilisation de matériaux recyclables, sur une meilleure utilisation de l'eau ;
- les produits ou matériaux qui présentent des risques liés à la santé, notamment la présence de produits jugés dangereux dans les peintures, sont de plus en plus critiqués ; ainsi, l'emploi de matériaux et produits plus « naturels » connaît une forte promotion ;
- dans le domaine culturel, le matériau terre est resté relativement familier jusque dans les années 1970 ; même si les savoirs et savoir-faire traditionnels de la construction en terre ne sont plus aussi directement transmis entre les générations que par le passé, ceux-ci existent encore ; leur documentation pourraient faciliter la mise en place de nouveaux leviers de transmission (formation) ; cela est d'autant plus envisageable qu'il existe un nouvel intérêt populaire pour cette architecture de terre vernaculaire coréenne.

Synthèse de l'analyse des « Menaces »

L'analyse des menaces exercées sur le renouveau d'intérêt pour la construction et l'architecture en terre dans le contexte coréen permet de relever les aspects et éléments suivants :

- l'intérêt des laboratoires de recherche grandit mais il est encore limité ;
- les budgets de recherche alloués au domaine, d'origine gouvernementale ou institutionnelle, sont encore largement insuffisants et manque de régularité ;
- le marché « renaissant » de la construction et de l'architecture en terre se développe lentement et le nombre de commande est encore réduit ;
- la construction en terre, du fait d'un marché encore limité et du coût de la main d'œuvre est encore chère par rapport à la construction en béton ;
- de ce fait, le tissu d'entreprises spécialisé qui est en train de se constituer est encore peu étendu et ne dispose pas de débouchés suffisants.
- face à un intérêt populaire renouvelé pour la construction et l'architecture en terre, les compétences professionnelles disponibles sont insuffisantes ;
- ce nouveau marché potentiel de la construction en terre fait aussi l'objet d'un affairisme aux mains d'opportunistes incompetents qui abusent une nouvelle clientèle ; cela peut gravement nuire au développement du secteur et du marché ;
- dans le secteur de la construction, ce sont les normes « béton » qui font référence ; celles-ci présentent des exigences démesurées pour des constructions autres qu'immeubles et tours, soit pour l'habitat individuel ou des groupements d'habitat de moindre densité et hauteur pouvant être réalisés avec d'autres matériaux ;
- bien que l'intérêt pour la construction et l'architecture en terre soit manifeste, il ne concerne encore qu'une minorité ; l'opinion générale reste encore assez réticente car le matériau ne répond pas à l'idée que l'on peut avoir de la « modernité » ;
- l'opinion émet encore des réserves sur le matériau terre et pense qu'il reste fragile vis-à-vis du climat tropical humide, notamment lors de la saison des pluies.

- si les vertus de l'argile sont de plus en plus reconnues, des réserves sont émises en ce qui concerne le mélange de la terre argileuse et des fibres végétales.

Conclusion de cette synthèse du « SWOT » sur le contexte coréen

De cette brève synthèse des forces, faiblesses, opportunités et menaces liées à la construction et à l'architecture en terre en République de Corée, il ressort qu'un fort potentiel de développement existe principalement dans trois directions reconnues comme prioritaires par les partenaires de cette recherche :

- pour de nouvelles applications à un « habitat plus sain » :
 - il s'agit de promouvoir un habitat qui soit moins générateur d'externalités négatives pour la santé de la population, notamment en contribuant à réduire la nocivité de produits et composants ajoutés aux matériaux de construction (formaldéhyde, par exemple) générateurs de troubles et maladies ;
- pour de nouvelles applications à un « habitat de qualité écologique et environnementale » :
 - il s'agit de promouvoir un habitat qui soit moins générateur d'externalités négatives sur l'environnement : exploitation démesurée des énergies non renouvelables et des ressources renouvelables rares, surconsommation d'énergies grises de production, construction et entretien, production de CO₂ (dioxyde de carbone), autres pollutions environnementales, etc.
- pour de nouvelles applications en rapport avec l'histoire et la culture de la nation : production d'un « habitat de qualité culturelle » :
 - il s'agit d'un nouvel intérêt pour une grande tradition de culture constructive et architecturale « noble » dotée de valeurs sociétales de référence, immatérielles et spirituelles, fondant une forme d'enracinement identitaire dans le territoire.

Les forces sont réelles, les faiblesses peuvent être surmontées, les opportunités sont nombreuses mais il existe encore des menaces qui traduisent des résistances et des oppositions, des pressions, notamment de nature mentale, économique et industrielle.

L'exigence actuelle d'une nouvelle orientation planétaire pour la préservation et la sauvegarde de l'environnement avec la perspective d'une réduction des énergies fossiles et des ressources renouvelables devenant plus rares, mais aussi face à des phénomènes et événements naturels récurrents tels que cyclones et inondations liés à l'évidence d'un changement climatique global, ou à l'augmentation de la pollution environnementale génératrice de troubles respiratoire (asthme, insuffisance respiratoire, allergies), dynamisent la recherche dans tous les domaines et secteurs de la technologie pour développer des réponses alternatives. En matière d'habitat, plusieurs pays se sont d'ores et déjà engagés dans ce renouveau mondial des architectures de terre et la République de Corée semble être à son tour engagée

dans le même sillage. Le futur n'est ni au retour « folkloriste » des traditions, ni à l'homogénéisation et banalisation des options technologiques « globales ». Il semble davantage pouvoir être en mesure de se définir dans l'avènement d'une nouvelle diversité des options, notamment culturelles, et dans une nouvelle forme « d'éclectisme » ou d'hybridation inventive des multiples expressions créatives locales qui associe les intelligences des traditions et de la modernité, des cultures, de la science, des arts et des techniques. La construction et l'architecture en terre, à l'échelle planétaire, sont l'une des expressions les plus manifestes de cette diversité et de cet inventivité du génie des lieux et de l'humanité sans cesse renouvelé au cours des âges. Ce potentiel doit, et peut être, remis au service du devenir du genre humain plus respectueux de son histoire, de sa mémoire, de ses savoirs et savoir-faire, de son environnement naturel et social, dans une trajectoire de « conservation et dépassement »⁴⁷. C'est bien ce potentiel identifié, en République de Corée, comme en d'autres régions du monde, qui invite, à mieux définir les nouvelles voies et priorités de la recherche « terre » pour être en mesure de construire la faisabilité d'une passerelle, vers des horizons lointains.

⁴⁷ En référence à l'*aufhebung* hégélien.

4 – Synthèse de l'état de l'art et orientations pour la recherche en Corée

Pour chacun des sept chapitres de cette recherche, sur la base d'une littérature scientifique internationale récente revisitée⁴⁸ et d'une meilleure connaissance du contexte coréen⁴⁹, nous établissons une synthèse de l'état de l'art permettant à la fois de mettre en évidence les acquis et les manques à combler dans le domaine de la recherche scientifique (production des connaissances) et de la recherche technique et opérationnelle (recherche appliquée). Nous pouvons ainsi identifier un ensemble de voies de la recherche « terre » dont la pertinence est ensuite évaluée à la lumière d'une nouvelle appréciation des forces, faiblesses, opportunités et menaces, à la fois au niveau international et au niveau local, soit pour le contexte coréen. Cette évaluation permet de mieux cerner les degrés de priorité⁵⁰ des voies de la recherche à engager (ci-après numérotées **R.1, R.x.**), études ou activités (ci-après numérotées **E.1., E.x.**) pour accompagner le développement de la construction et de l'architecture de terre, en République de Corée.

4.1. - Chapitre 1 : L'utilisation de la terre :

Chap. 1 - Synthèse de l'état de l'art

Chap. 1 - Les principaux acquis et manques à combler

L'histoire des architectures de terre est encore assez mal connue bien que de très nombreux chercheurs se soient davantage mobilisés au cours de ces trente dernières années. Dans beaucoup de régions du monde, les recherches sur l'histoire n'ont pas été développées. Ainsi, le corpus de savoirs existant est encore lacunaire pour de larges aires géographiques, demeure fragmentaire et n'a pas encore fait l'objet d'une synthèse globale. Dans le contexte coréen, la recherche sur l'histoire des architectures de terre, bien qu'abordée par le biais de l'archéologie et de quelques monographies sur une architecture de caractère noble, reste encore à écrire (**R.1.**), particulièrement pour ce qui concerne les cultures constructives traditionnelles et vernaculaires (**R.2.**). Cela est d'autant plus urgent que le patrimoine bâti traditionnel qui mériterait de faire l'objet d'un inventaire (**R.3.**) a fait l'objet de destructions et d'altérations du fait de la pression du processus de construction « moderniste ». L'engagement d'une telle recherche, en République de Corée serait aussi une contribution décisive à l'histoire mondiale, des architectures de terre valorisant son caractère universel. La recherche historique sur le patrimoine architectural en terre dans le pays, sa documentation élaborée, pourraient être associée à une approche anthropologique qui permettrait d'analyser les valeurs culturelles, matérielles et immatérielles (spirituelles) de cet héritage (**R.4.**). Cela

⁴⁸ Il s'agit principalement des actes des grandes conférences internationales et régionales couvrant le domaine de la construction et de l'architecture de terre appréhendé selon un large registre de thématiques et problématiques, et d'une bibliographie de livres, essais et articles scientifiques sélectionnés. Nous rendons compte de ce corpus de sources dans la bibliographie de cette recherche (fin du rapport).

⁴⁹ Cette meilleure connaissance du contexte coréen résulte principalement des apports d'informations qui nous ont été fournis par les partenaires coréens de cette recherche.

⁵⁰ Nous proposons 5 degrés de priorité : priorité absolue, très haute priorité, haute priorité, priorité moyenne et non prioritaire.

constituerait une contribution majeure pour une déclaration de la valeur culturelle des architectures de terre, au niveau national mais aussi au niveau international en apportant au travail réalisé dans ce domaine par le Centre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, les institutions culturelles de plusieurs pays, et d'autres chercheurs dans le monde. Ce travail pourrait aussi ouvrir d'autres possibilités pour le classement de sites coréens (sites mixtes culturels et naturels) sur la Liste indicative du Patrimoine Mondial, étape préalable à la réalisation de dossiers de nomination.

Le matériau terre et l'architecture qui l'a employé se heurtent encore très souvent à des préjugés défavorables dont les origines sont ancrées au plus profond des esprits des personnes et des peuples (inconscient collectif). Il s'agit là de la notion d'acceptabilité. Ces préjugés sont pour beaucoup le fait d'un manque de connaissance du matériau et de cette architecture de terre que les matériaux modernes (béton, acier) ont dévalorisé, voire éclipsé. Le plus souvent il s'agit d'un manque de références culturelles. Cette relation entre l'homme et la terre, comme d'ailleurs avec les autres éléments (air, feu, eau) est pourtant très forte comme le démontrent la plupart des cultures constructives et architecturales vernaculaires qui constituent aussi une grande part d'identité et d'enracinement des peuples. L'analyse de cette situation permettrait de mieux comprendre les fondements et les mécanismes, à la fois affectifs, irrationnels et rationnels, qui sous tendent cette relation. Cela permettrait aussi de lever des barrières et blocages de nature psychologique. A ce premier volet d'étude, pourraient être associé d'autres volets comme l'étude des aspects socioéconomiques de la technologie qui sont encore largement ignorés. De même on pourrait mieux étudier les aspects juridiques couvrant les questions de garantie et d'assurance. Cela afin de pouvoir mieux travailler avec les autorités techniques, les organismes du contrôle de la construction et les acteurs de la production architecturale (maîtres d'ouvrages, architectes, entreprises). Et quels sont aussi les critères de choix qui permettraient aux acteurs de la construction de mieux évaluer les avantages et désavantages de tel ou tel matériau et technique de construction en terre pour prendre les meilleures décisions en telle ou telle situation de projet ? Mais, plus globalement, il semble de première nécessité de réaliser une enquête au sein du milieu professionnel afin de bien mieux identifier et comprendre les arguments du pour et du contre la construction et l'architecture de terre. Cette enquête ou étude, menée par des sociologues et des économistes devrait couvrir le plus large champ des professions : usagers des ouvrages en terre, agences immobilières et maîtres d'ouvrages, architectes et ingénieurs, entreprises et artisans, bureaux de contrôle technique, services d'urbanisme, banques et assurances, universités et départements d'architecture ou d'ingénierie de la construction. Cette étude aurait aussi pour corollaire de mieux apprécier le potentiel de développement d'un « marché » de la construction en terre **(E. 1)**.

Quoi de mieux pour valoriser l'architecture de terre que de démontrer sa qualité par l'évidence des plus belles réalisations, traditionnelles, modernes et contemporaines ? Aux Etats-Unis comme dans les pays européens, ces dernières années ont été marquées par l'édition de plus en plus nombreux ouvrages spécialisés et par la publication d'articles en revues d'architecture ou de caractère écologique qui proposent des monographies de superbes projets d'architectes ayant utilisé le matériau terre avec innovation et réelle créativité constructive (matériau, structure et systèmes constructifs) et architecturale (espace, forme, esthétique). La République

de Corée peut valoriser plusieurs projets récents et exprimer l'évidence d'une continuité culturelle entre tradition (beau patrimoine historique et vernaculaire) et contemporanéité. Un beau livre sur l'architecture de terre de Corée mérite d'être préparé et édité **(E.2.)**.

Depuis près de 10 ans, la République de Corée s'est engagée dans un processus de renouveau de l'architecture de terre. Ce processus semble connaître un développement encore lent mais régulier qui mobilise de plus en plus d'acteurs dans le domaine universitaire comme professionnel. La plupart des pays qui ont devancé la Corée au cours des dernières décennies (Etats-Unis, Amérique latine, Australie, pays d'Europe), se sont organisés en réseaux d'acteurs, aux échelles nationales et régionales, le plus souvent sous forme d'association. La République de Corée a même créé son propre Institut de la Construction en terre, structure qui constitue une exception au niveau international. Il devient important de bien identifier l'ensemble des acteurs qui sont aujourd'hui mobilisés, dans le pays en couvrant tous les milieux concernés et les nouvelles formes d'application du matériau terre en construction, architecture et arts plastiques **(E.3.)**.

La reconnaissance nationale et officielle d'un centre spécialisé sur la construction et l'architecture de terre est sans aucun doute un enjeu majeur pour la République de Corée qui manifeste un intérêt des milieux décisionnels, académiques et professionnels pour un renouveau de l'architecture de terre. La commande de cette étude visant à mieux identifier les priorités pour les voies de la recherche terre dans le pays participe de cette manifestation politique d'intérêt comme l'existence d'une équipe universitaire spécialisée au Département d'Architecture de l'Université de Mokpo, ainsi que l'augmentation du nombre des réalisations d'architecture contemporaine. La reconnaissance d'un centre d'enseignement et de recherche spécialisé au sein du DOA-MNU, partenaire de la Chaire UNESCO Architecture de terre du pôle d'excellence international CRATerre-ENSAG de Grenoble, France, devrait être consolidée par une politique de soutien financier plus conséquent aux actions d'enseignement spécialisé et de recherche, d'expérimentation qui sont les conditions essentielles pour le développement futur de l'architecture de terre dans le pays **(E.4.)**. L'existence reconnue de ce centre facilitera en outre sa mise en réseau d'échange avec d'autres structures homologues dans le monde. Il serait également d'une grande utilité pour le milieu académique et scientifique, comme pour le milieu professionnel du pays de créer une banque de données offrant une plus large accessibilité publique à la littérature scientifique et technique ainsi qu'à une banque d'images sur les patrimoines et les architectures contemporaines. Un tel outil serait en outre favorable au renforcement des motivations et des initiatives en matière de formation professionnelle et d'enseignement supérieur, de recherche scientifique et technique, et d'expérimentation pour l'innovation constructive et architecturale **(E.5.)**.

Chap. 1 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap. 1 - Recherches :

- Chap. 1 - **R.1.** : Développer les recherches sur l'histoire de l'architecture de terre, en Corée ;

- Chap. 1 - **R.2.** : Développer une recherche sur les cultures constructives en terre traditionnelles, en Corée ;
- Chap. 1 – **R.3.** : Réaliser un inventaire des architectures de terre, nobles et vernaculaires, en République de Corée.
- Chap. 1 - **R.4.** : Analyser les valeurs matérielles et immatérielles des architectures de terre en Corée pour contribuer à une déclaration nationale et internationale de la signification culturelle de l'architecture de terre ;

Chap. 1 - Etudes et activités :

- Chap. 1 – **E.1.** : Acceptabilité de l'architecture de terre : enquêtes auprès des décideurs, professionnels, banques, compagnies d'assurance, auprès de la population, etc. ;
- Chap. 1 – **E.2.** : Valoriser les réalisations architecturales en terre récentes en Corée : livre, monographies de promotion et sensibilisation publique, matériel audiovisuel, supports numériques, etc. ;
- Chap. 1 – **E.3.** : Faire l'inventaire de tous les acteurs actuellement investis dans le renouveau de la construction et de l'architecture de terre en Corée : liste actualisée de toutes les parties prenantes, institutions, professionnels ; donner de la visibilité à un réseau national ;
- Chap. 1 – **E.4.** : Renforcer le développement et la reconnaissance d'un Centre de recherche spécialisée sur la construction en terre au sein du DOA-MNU ;
- Chap. 1 – **E.5.** : Développer une banque de données spécialisée (bibliographie, publications, banque d'images, données scientifiques et techniques,...), accessible en ligne aux étudiants, chercheurs et professionnels ;

4.2. - Chapitre 2 : La terre pour construire

Chap. 2 - Synthèse de l'état de l'art

Chap. 2 - Les principaux acquis et manques à combler

Les plus récentes recherches scientifiques fondamentales sur la matière terre, appréhendée comme une « matière en grains » à l'échelle macromoléculaire ont notamment visé à mieux connaître et comprendre les propriétés de cohésion et de perte de cohésion de la matière. Elles ont également permis de mieux comprendre le rôle de l'eau comme liant ou « colle » des argiles. Ainsi ce n'est pas l'argile en soit qui donne la cohésion à la matière terre mais bien l'eau. Ces recherches débouchent désormais sur la possibilité de mieux maîtriser le matériau à des états plus plastiques et même liquides, ouvrent la perspective de pouvoir construire, demain, en béton de terre coulée, béton naturel écologique. Mais pour rendre cette perspective plus réaliste, il est nécessaire de mieux connaître la manière dont la terre « coule ». Pour cela il est nécessaire d'effectuer des recherche sur la rhéologie du matériau en

s'inspirant par exemple de la technologie des ragréages et bétons auto-nivelants. Comment liquéfier la terre sans lui ajouter de l'eau ? Doit-on travailler sur la granulométrie et sur le type d'empilement des grains constituant la matière terre, évoluer de l'empilement apollonien à l'empilement espacé en constituant ainsi un béton de terre qui serait à la fois plus dense et plus fluide ? Doit-on utiliser des super plastifiants pour disperser les argiles ? Mais les stabilisants classiques, ciment et chaux, sont inadaptés avec les plastifiants car ils bloquent la liquéfaction et activent la plasticité. Une autre voie peut être aussi explorée, celle de la coagulation des boues d'argile en s'inspirant de la technologie du coulage des « crus » en céramique. Mais, si la coagulation des ciments est un processus de durcissement « chimique », celle des argiles est un processus de durcissement « physique ». Ou encore, peut-on jouer sur le pH, soit sur le mélange alcalin (liquide) ou acide (plastique) de la matière ? Mais en même temps, on ne peut pas couler une terre à un état liquide optimum si cette terre est par exemple stabilisée au ciment. Cette recherche de nature rhéologique est donc une voie nécessaire pour mieux maîtriser cette perspective du coulage des murs en terre, en béton de terre, comme l'on coule des murs en béton, en béton de ciment **(R.5.)**.

Beaucoup d'essais classiquement appliqués à d'autres matériaux de construction ont été adoptés pour le matériau terre sans avoir été fondamentalement adaptés. C'est notamment le cas pour les essais de perméabilité, de gonflement par absorption d'eau, de résistance à la compression aux états secs et humides, de gel - dégel, de résistance au cisaillement et à la flexion, à la traction, de mouillage - séchage. Ces essais qui adoptent des modes opératoires connus ne sont pas en effet pleinement adaptés à tous les types de matériau terre même s'ils sont par exemple plus facilement applicables aux briques de terre et beaucoup moins pour un pisé, une bauge ou une terre-paille. Dans l'ensemble de ses essais, l'essai de perméabilité est essentiel **(R.6.)** et il devrait être en mesure de mieux mesurer notamment les transferts d'humidité et de vapeur, de mieux comprendre comment agissent entre elles les surfaces d'échange dans le matériau terre **(R.7.)**. Plusieurs méthodes existent pour déterminer la perméabilité d'un matériau et il n'est pas toujours aisé de comparer les résultats, d'établir des équivalences, des étalonnages, selon ces différentes méthodes. Une recherche plus systématique doit être développée qui viserait à définir des classes de perméabilité pour les divers matériaux à base de terre et pouvoir ainsi avancer en matière de normalisation.

Si la presque totalité des surfaces émergées de la planète a fait l'objet de recherches géologiques et pédologiques de façon à identifier le substratum des roches mères et les types de sols évolués à partir de ce socle géologique, si les cartes géologiques et les cartes des sols de surface (pédologie) couvrent la presque totalité du monde et permettent des pré études de prospection des sols et carrières pour la construction en terre, ces outils ne sont pas spécifiques et posent encore des problèmes d'utilisation de différentes natures. Il existe par exemple des terres « spéciales » comme les latérites, les *black cotton soils*, qui exigent des études plus spécifiques. La nature des terres, leur composition, leur structure minéralogique et moléculaire, sont abondamment décrites dans la littérature de la mécanique des sols, de l'industrie céramique, de l'agriculture, des travaux publics mais il n'existe pas encore à ce jour une littérature spécialisée pour la construction en terre. Il s'agit davantage d'un problème de « traduction » et d'« interprétation » des données plutôt que de « laboratoire ». Pour avancer sur la mise à disposition d'outils de référence pour les

constructeurs il conviendrait déjà, dans le contexte coréen, d'éditer une carte des sols utiles pour la construction en terre, en approche géotechnique (**R.8.**) qui est à ce jour la plus directement exploitable et de la corréler avec les différents matériaux et les principales techniques de construction, la brique crue moulée, la brique comprimée, le pisé et la bauge (**R.9.**).

Un autre problème très important concerne la correspondance des essais en laboratoire sur les matériaux échantillons et le comportement réel des matériaux des ouvrages et selon les environnements. Si la relation de nature mécanique est plus facile à établir entre le laboratoire et l'ouvrage (résistance structurelle), ce n'est pas vraiment le cas pour la durabilité (érosion) qui souffre de prédictions le plus souvent très pessimistes (essai d'arrosage, par exemple). Cela contribue à faire peser une lourde hypothèque sur le matériau terre et son emploi en milieu industrialisé que seule une approche scientifique plus réaliste pourrait lever. Pour cela, il s'agit de mieux prendre en compte notamment les paramètres environnementaux tels que situation physique du site, régimes climatiques et expositions du bâti aux agents climatiques (pluie, vent, ensoleillement), mais aussi morphologie des ouvrages (formes), types de dispositions constructives, de systèmes de protection, d'enduits, etc. C'est bien ici à l'échelle du comportement de l'architecture (le bâtiment) et non uniquement du matériau (la brique) qu'il convient de réfléchir (**R.10.**).

Les analyses, tests et essais sur le matériau exigent l'envoi d'échantillons dans des laboratoires, ce qui peut poser des problèmes d'acheminement et de nature économique (coût) lorsque l'on envisage de construire en terre dans un site éloigné de telles équipements (milieu rural par exemple). Certes il existe des camions laboratoires tout terrain depuis déjà plusieurs années que l'on peut acquérir sur le marché. Mais, leur équipement et son adaptation aux besoins spécifiques de la construction en terre devrait être mieux réfléchi notamment si un tel laboratoire mobile est destiné à réaliser des essais d'identification du matériau (prospection de gisements de terres pour bâtir) ou s'il est destiné à faire une mise au point intégrale du matériau de construction (essais divers de performance), ou encore pour former des techniciens professionnels de la construction en terre. C'est là un domaine d'étude qui pourrait être développé (**E. 6.**).

Chap. 2 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap. 2 – Recherches :

- Chap. 2 – **R.5.** : Développer les recherches sur la rhéologie du matériau terre : liquéfaction, viscosité, coagulation, coulage, etc. (contribution scientifique au développement des bétons de terre coulée) ;
- Chap. 2 – **R.6.** : Développer les recherches sur la perméabilité du matériau terre ;
- Chap. 2 – **R.7.** : Développer les recherches sur les transferts de vapeur et les surfaces d'échanges dans le matériau terre ;
- Chap. 2 – **R.8.** : Dresser la carte des sols utiles pour la construction en terre en Corée : carte géotechnique ;

- Chap. 2 – **R.9.** : Etablir la corrélation entre la nature des sols de Corée et les principales techniques de construction en terre ;
- Chap. 2 – **R.10.** : Corréler les essais de laboratoire sur le matériau terre avec le comportement en situation réelle (paramètres environnementaux) ;

Chap. 2 – Etudes et activités :

- Chap. 2 – **E.6.** : Développer un laboratoire mobile pour les analyses de sols sur site ;

4.3. - Chapitre 3 : Les matériaux et les techniques de construction en terre

Synthèse de l'état de l'art

Chap. 3 - Les principaux acquis et manques à combler

Les techniques de construction en terre armée ont été développées depuis très longtemps comme l'ont notamment démontré les recherches archéologiques menées sur les sites antiques du Proche-Orient des époques babyloniennes. On incorporait alors de véritables réseaux de câbles végétaux, en cordage tressés, dans la construction des tours à étages ou « ziggourats ». Ces principes ont été repris dans des ouvrages de travaux publics où des panneaux de béton utilisés en parement de soutènement de terres, ou pour des ouvrages d'art, sont reliés à des câbles en matière synthétique déployés dans l'épaisseur des couches de terre (procédé de l'ingénieur français des Ponts et Chaussées Henri Vidal). Dans plusieurs traditions de construction en terre vernaculaire, on a aussi repéré l'incorporation de fibres végétales dans les lits de mortier servant à bâtir les briques de terre crue comme c'est le cas dans la tradition yéménite, à Shibam, ville que l'on a dénommée la « Manhattan du désert » tant ses immeubles en terre sont hauts, élevés sur parfois plus de dix étages. On a aussi repéré une technique de construction en pisé stabilisé à la paille, au Pérou. Des études sur des cultures constructives traditionnelles en terre résistantes au risque sismique ont aussi montré que, dans certains pays exposés à ce risque, l'on incorporait des solutions d'armatures en bois dans les maçonneries. La recherche plus récente sur la construction parasismique (Pérou) a également proposé l'incorporation d'armatures métalliques sous forme de treillis et grillages déployés. De telles recherches et expérimentations pour d'autres utilisations constructives de ces principes de maçonnerie armée, même hors régions à risque sismique, mériteraient d'être développées. Elles permettraient notamment de mieux évaluer le rôle structurel de ces armatures et leur comportement dans la durée comme l'érosion du métal ou le pourrissement des matières végétales noyées dans la terre par exemple (**R.11.**).

Les recherches sur la rhéologie (coulage de la terre liquide) que l'on évoquait précédemment (R.5.) qui ouvrent la perspective d'une possible construction future en béton de terre naturelle coulée doivent être associées à des expérimentations à l'échelle grandeur sur des prototypes de structures afin d'évaluer le comportement des bétons de terre coulés en situation de chantier. Est notamment en jeu la

question de la maîtrise du retrait linéaire, du gonflement et retrait surfacique et volumique, du tassement, de la perte éventuelle de résistance du matériau **(R.12.)**.

Quelques rares constructeurs se sont engagés ces dernières années sur la voie de l'innovation technologique en explorant la possibilité de construire en terre projetée sur ossature en bois ou en acier. C'est le cas de l'entrepreneur nord-américain David Easton en Californie qui a testé un principe de construction en pisé projeté, également exploré en France par une jeune entreprise de la région de Grenoble, « Caracol ». C'est aussi le cas de l'architecte constructeur chilien Marcelo Cortes qui a développé le principe d'un torchis projeté sur ossature en acier dans plusieurs réalisations architecturales, dans la région de Santiago du Chili. Ces recherches et expérimentations méritent d'être développées pour mieux maîtriser là encore le comportement rhéologique et plastique du matériau projeté, pour dominer les problèmes de pression de projection et de densification de la matière sur les ossatures en projection frontale, mais aussi pour mieux définir le meilleur équilibre de quantité de terre projetée en remplissage des ossatures et en surfaçage (finition). Ces recherches doivent être directement associées à des expérimentations sur prototypes de structures **(R.13)**.

La construction en briques de terre crue moulées, que l'on doit bien différencier de la construction en blocs de terre comprimée, la première ayant été développée depuis l'Antiquité et la seconde depuis seulement un demi-siècle, pose aujourd'hui de gros problèmes d'adaptation en contexte d'économie industrielle. En effet, l'un des principaux handicaps pour une production importante de briques crues est la superficie de terrain nécessaire pour l'aire de moulage et de séchage. Malgré ce handicap, il existe aux Etats-Unis d'immenses unités de production comme c'est le cas avec la fabrique Hans Sumpf à Fresno, Californie, qui a acquis de longue date ses terrains d'exploitation des terres, de moulage et de séchage. De nos jours, le prix des terrains, du fait de la pression de l'urbanisation et de la construction, a considérablement augmenté. Il devient impossible d'imaginer le développement de telles entreprises de production de briques de terre crue sur le modèle nord américain même si certains entrepreneurs l'ont encore récemment tenté comme c'est le cas en Algarve, au Portugal (entreprise *Construdobe*). D'autres orientations technologiques ont été prises. Par exemple, un entrepreneur allemand, Peter Breidenbach, fondateur de l'entreprise *Claytec*, a mis au point une unité de production de briques de terre crues moulées de petit module avec centrale de moulage et chambres de séchage en ambiance humide contrôlée, sur le modèle de la production des blocs d'agglomérés de sable, granulats et ciment. C'est là une voie particulièrement intéressante à développer et prometteuse d'avenir que d'innover dans le domaine des unités de production industrielles compactes de briques de terre crue **(R.14.)**. Cette évolution rend possible l'implantation de plusieurs petites unités de production industrielle de briques crues sur le territoire.

La technologie de la terre extrudée à partir de filières dont la conception est inspirée des briqueteries modernes a été expérimentée depuis près de 30 ans, en France. Un procédé dénommé « *Stargyl* » a été en effet imaginé par l'INSA de Rennes, par l'ingénieur Laquerbe en collaboration avec le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB). Les briques crues extrudées sont produites à partir d'un mélange de terre argileuse et de ciment (entre 15 à 30%) qui donne une pâte de base à laquelle on ajoute ensuite des agents plastifiants. Le procédé *Stargyl* n'a permis de produire que

des éléments longs et minces de cloison et il n'a finalement pas connu les développements espérés : problèmes de contrôle et de coût de la stabilisation des terres, problème de gélivité, de coût d'investissement dans les unités de production. L'intérêt des produits de terre extrudée réside essentiellement dans la possibilité de réduire les coûts énergétiques de production (absence de cuisson) mais cet intérêt peut être contrebalancé par le coût énergétique des stabilisants. Les recherches récemment relancées en République de Corée sur les éléments de construction en terre crue extrudée, pour des doublages intérieurs ou des parements extérieurs, dans le cadre de la mise au point de produits isolants et exploitant aussi les propriétés de régulation hygrothermique de la terre crue (transferts d'humidité, de vapeur, énergie récupérée par le changement de phase) peuvent permettre d'explorer plus avant l'intérêt de ces matériaux et méritent d'être soutenues **(R.15)**.

La connaissance des propriétés et performances des matériaux de construction en terre crue a fait des avancées importantes au cours des dernières décennies mais la définition de classes de références pour l'ensemble des propriétés (physiques, mécaniques, statiques, hydriques, thermophysiques) reste encore tributaire de la grande versatilité des caractéristiques des terres et de la diversité des contextes d'application. Néanmoins, on peut aujourd'hui déterminer des classes de terre qui peuvent être utilisées pour la construction, et un ensemble de paramètres de contrôle de qualité avec des plages de performance. C'est notamment le cas pour les propriétés physiques, statiques et mécaniques, alors qu'il est encore nécessaire d'explorer plus avant les propriétés hydriques et thermophysiques, celles-ci étant essentielles pour la conception d'une architecture à haute performance énergétique et qualité environnementale. Les références dont on dispose à ce jour sont rapportables à des contextes particuliers dont l'exploitation ne peut pas être aussi directement généralisée. Elles doivent être davantage rapportées à la diversité des environnements physiques et climatiques. On doit aussi relever le fait que la seule recherche en ambiance de laboratoire, même si elle permet d'avancer vers la mise au point de modèles mathématiques ne permet pas de rendre compte du comportement réel. Aussi est-il aujourd'hui préférable de développer les recherches dans ce domaine en lien avec la réalisation de prototypes d'enveloppes bâties qui pourront faire l'objet de protocole de mesure et de suivi comportemental en contexte physique réel. Dans l'ensemble des matériaux de construction en terre, la connaissance des propriétés et des performances couvre aujourd'hui assez bien les techniques de la brique de terre comprimée et de la brique crue moulée, alors que des investigations complémentaires sont nécessaires pour les techniques de construction massive comme le pisé et la bauge ; mais aussi pour les matériaux plus légers (et donc offrant d'autres intérêt que la seule inertie, soit l'isolation), comme le torchis et la terre-paille **(R.16.)**.

Dans la perspective du développement d'une architecture à haute performance énergétique et qualité environnementale où les matériaux de construction en terre pourront être intelligemment associés à d'autres matériaux issus de la haute technologie, il est désormais indispensable et particulièrement urgent de développer des recherches visant à établir clairement les bilans de consommation en énergies grises de production, construction et maintenance, et les bilans carbone (CO₂). Les données dans ce domaine sont aujourd'hui pratiquement inexistantes et cette situation pénalise très fortement les perspectives de renouveau de la construction en terre crue. Les résultats de ces recherches sur le bilan énergétique **(R.17)** et carbone

(R.18) des matériaux de construction en terre mériteront d'intégrer une approche comparative avec les principaux matériaux de construction actuels, brique cuite, bloc d'aggloméré de sable, granulats et ciment, béton et béton armé, polymères, verre, etc. mais aussi avec d'autres matériaux naturels alternatifs qui connaissent un nouveau développement tels que la paille, le chanvre, les mortiers à charge légère, par exemple.

L'ingénierie de la construction et des structures butte encore aujourd'hui sur l'absence de modèle de calcul mathématique de comportement et de résistance propre au domaine de la construction en terre. On se réfère principalement au domaine des « maçonneries non renforcées » qui concerne la construction en pierres ou en briques cuites en procédant par analogie. Mais les systèmes de structures en terre porteurs (on exclue bien sûr ici les systèmes d'ossatures porteuses en béton, acier ou bois remplies par des matériaux en terre crue), notamment pour les constructions massives en pisé ou en bauge (murs épais) pour lesquelles demeurent des inconnues en matière de propriétés et de performances des matériaux appellent la mise au point de modèles de calcul de structure plus spécifiques. Imposer pour les structures en terre crue les normes et les exigences, les modèles de calcul issus d'autres matériaux de l'industrie et des techniques de la construction moderne n'a aucun sens car à tout type de matériau correspond une typologie de systèmes constructifs et de structure, des performances structurales et des comportements qui leur sont propres. On ne construit pas en terre les mêmes types d'ouvrages qu'en acier ou en béton et cela doit être clairement et définitivement compris. Plus qu'à l'échelle du produit ou du matériau de construction, il s'agit de raisonner à l'échelle du bâtiment et de l'architecture. Le matériau terre que l'on considère fragile et versatile a légué un patrimoine architectural de grande diversité, qualité et durabilité. La réflexion qu'il convient de développer procède davantage de la notion de « culture » et « d'intelligence » constructive. Elle doit aussi considérer la diversité des contextes d'application, leurs régimes climatiques, les typologies d'ouvrages, les usages et même des modes d'entretien des bâtiments qui sont tellement différents selon les régions du monde. L'imposition de la norme « unique » contribue à la création de la « rareté » culturelle (réduction des cultures constructives) et donc à l'éradication de la construction en terre et de multiples savoirs et savoir-faire dans de vastes domaines. Si l'on s'accorde au contraire que la valeur des architectures réside dans la diversité des réponses culturelles et techniques il faut alors absolument encourager les recherches qui permettront d'élaborer des modèles de calcul de structure applicables au domaine spécifique de la construction en terre **(R.19)**.

Comme nous l'avons relevé en amont, au chapitre 2.5, beaucoup de pays ont publié leurs normes nationales de construction en terre accompagnées de textes de certification sur les matériaux et parfois (mais rarement) de recommandations sur leur utilisation constructive. La République de Corée ne dispose pas à ce jour de textes normatifs de référence et les architectes qui construisent en terre aujourd'hui s'appuient essentiellement sur des références normatives issues de pays étrangers, sur une littérature technique également d'origine étrangère qui peut faire autorité⁵¹, ou bien engagent leur propre responsabilité juridique et civile, en accord mutuel avec les maîtres d'ouvrages et les entreprises, les compagnies d'assurance. C'est également le cas dans beaucoup d'autres pays où aucune norme ne couvre le domaine de la construction en terre. L'élaboration de la norme, pour ce qui concerne

⁵¹ C'est notamment le cas du Traité de Construction en terre de CRATerre (Houben et Guillaud 1989).

la caractérisation des matériaux, doit répondre à plusieurs niveaux d'exigences essentielles. Si nous nous référons ici, par exemple, à la directive européenne sur les produits de construction⁵² nous relevons 6 niveaux d'exigence couverts par la norme :

- 1 – Résistance mécanique et stabilité ;
- 2 – Sécurité en cas d'incendie ;
- 3 – Hygiène, santé et environnement ;
- 4 – Sécurité d'utilisation ;
- 5 - Protection contre le bruit ; et,
- 6 – Economie d'énergie.

Le plus souvent, la norme situe ces niveaux d'exigence vis-à-vis des matériaux ou des produits. C'est ainsi que la résistance mécanique et la stabilité sont le plus souvent traduites en termes de caractéristiques des matériaux : tolérance dimensionnelle, étanchéité, résistance en compression, en traction, rigidité en flexion et au cisaillement, etc. La sécurité en cas d'incendie porte sur la résistance et la réaction au feu des matériaux, sur l'isolation, l'étanchéité et la résistance mécanique en cas d'incendie, elle détermine des classes de tenue au feu avec la durabilité dans le temps des valeurs caractéristiques, elle inclut aussi les équipements techniques de détection et de ventilation. Au prisme de l'hygiène, de la santé et de l'environnement, on évalue les degrés de menace pour les occupants et l'on veille à l'absence de dégagement de gaz nocifs, d'émissions de radiations et autres pollutions pouvant générer de graves pathologies ou maladies. La sécurité d'utilisation prend en compte l'absence de risques physiques sur les occupants (accidents, blessures issus de l'usage). La protection contre le bruit distingue les bruits aériens et les bruits d'impact. Les économies d'énergie sont encore le plus souvent liées aux caractéristiques des matériaux et des composants du bâti, et des équipements, mais intègrent encore insuffisamment les énergies primaires intégrées (énergies « grises »). On voit donc que les évaluations qui accompagnent l'élaboration des normes, au-delà des matériaux et des produits, ne prennent pas vraiment en compte toutes les échelles : celle de l'ouvrage et de son cycle de vie (recyclage et élimination, par exemple), le contexte du bâti (urbain ou rural par exemple), l'échelle du territoire, l'incidence des énergies grises et du bilan carbone dans les impacts environnementaux, les émissions de solvants sur la santé pour les ouvriers qui construisent puis pour les occupants qui habitent, mais encore et pratiquement jamais, la valeur ajoutée humaine et sociale (création de travail par exemple). On voit donc bien ici que c'est tout « l'esprit » de la norme qui devrait être repensé et qu'il conviendrait plutôt de préparer des normes de « construction » et de « conception » architecturale des ouvrages, avec des recommandations « d'usage » et « d'entretien ». Revenant au contexte de la République de Corée, cette approche normative devrait être l'occasion de faire le point sur l'ensemble des textes existants, de les analyser, de les adapter avec autant d'exigence que d'intelligence. C'est-à-dire en utilisant des critères qui soient en mesure d'évaluer autant les caractères que les performances mais surtout l'intelligence des cultures constructives et des architectures de terre avec leurs références « situées » (coréennes). Une telle recherche apparaît indispensable, et pas uniquement pour le contexte coréen, c'est pourquoi il conviendrait de l'engager dans le cadre d'un partenariat scientifique international **(R.20)**. Le contexte fédérateur que propose la Chaire UNESCO

⁵² Voir Directive 89 / 106 / CEE du 21 décembre 1988. www.dpcnet.org

« Architecture de terre, cultures constructives et développement durable » devrait s'en saisir au cours des prochaines années, organiser des comités de travail et proposer un texte normatif de référence international. Comme partenaire de cette chaire UNESCO, le DOA-MNU de Mokpo sera associé à cette démarche.

Comme en toute région du monde, le développement des principales filières de construction en terre en République de Corée (brique crue et BTC, pisé, bauge, terre-paille) est conditionné par l'ouverture d'un « marché » qui puisse générer une viabilité économique pour les maîtres d'ouvrages, les architectes et les entreprises. Pour mieux évaluer le potentiel porteur de ce marché de la construction en terre dans le contexte coréen, il est nécessaire de réaliser des études de faisabilité qui intègrent à la fois des critères d'ordre technique, économique, social et environnemental. De telles études peuvent être entreprises pour différentes échelles du territoire afin de mieux cerner les paramètres à la fois globaux et locaux, pour faciliter leur développement et obtenir des résultats plus réalistes et pertinents. Elles doivent non seulement permettre d'évaluer les impacts économiques de chacune des filières (coût des matériaux, de la main d'œuvre) mais aussi les impacts humains et sociaux (génération de travail et création d'un tissu d'entreprises), ainsi que les impacts environnementaux (réduction de la consommation des ressources renouvelables rares et des énergies non renouvelables, consommation en énergies grises, bilan carbone, impact sur l'hygiène et la santé de la population, sur l'amélioration de la qualité de vie). Il convient d'encourager la réalisation de telles études de faisabilité en approche plurisectorielle et de profiter de leur engagement pour mieux définir tous les paramètres à prendre en compte car, jusqu'à présent ce type d'étude s'en est surtout tenu à des paramètres de nature technique et économique (**E.7, a, b, c, d, e**).

Chap. 3 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap. 3 – Recherches

- Chap. 3 – **R.11.** : Développer les recherches sur les mortiers, matériaux et techniques de construction en terre armée : armatures métalliques, armatures en fibres naturelles et synthétiques ;
- Chap. 3 – **R.12.** : Développer les recherches sur les bétons de terre coulée ;
- Chap. 3 – **R.13** : Développer les recherches sur la construction en terre projetée (ossatures, treillis, etc.) ;
- Chap. 3 – **R.14** : Recherches sur l'amélioration de la productivité pour la technique de la brique crue : moulage industriel, unités de production compactes ;
- Chap. 3 – **R.15** : Développer les recherches sur les éléments de construction en terre extrudée : matériaux de maçonnerie, parements et panneaux ;
- Chap. 3 – **R.16** : Compléter les recherches sur les propriétés des matériaux de construction en terre : propriétés physiques, mécaniques, statiques, hydriques, thermophysiques ; cette recherche doit couvrir les différents matériaux de

construction en terre : torchis et terre-paille, bauge, pisé, brique crue, bloc de terre comprimée ;

- Chap. 3 – **R.17** : Recherches sur la consommation énergétique (énergies grises de production, notamment) des matériaux de construction en terre en comparaison avec d'autres matériaux de construction tels que béton, blocs d'agréats et ciment, briques cuites ;
- Chap. 3 – **R.18** : Recherches sur l'analyse carbone (CO₂) des matériaux de construction en terre en comparaison avec d'autres matériaux de construction tels que béton, blocs d'agréats et ciment, briques cuites ;
- Chap. 3 – **R.19** : Elaborer une méthode de calcul de résistance spécifique pour les structures construites en terre en fonction des principales techniques de construction : terre-paille, bauge, brique crue, bloc de terre comprimée, pisé ;
- Chap. 3 – **R.20** : Contribuer au développement des certifications, normes sur les principaux matériaux de construction en terre (terre-paille, bauge, brique crue, bloc de terre comprimée, pisé), et leur emploi dans les ouvrages ;

Chap. 3 – Etudes et activités

- Chap. 3. – **E. 7.** : Réaliser des études de faisabilité pour le développement des principales filières terre en Corée : filière bauge, filière terre-paille, filière brique de terre crue, filière pisé, filière blocs de terre comprimée ;

4.4. - Chapitre 4 : La stabilisation

Synthèse de l'état de l'art

Chap. 4 - Les principaux acquis et manques à combler

Les recherches fondamentales sur la matière terre qui ont récemment visé à mieux comprendre les propriétés de cohésion et de perte de cohésion ont aussi remis en lumière des modes de stabilisation du matériau qui ont été développés et utilisés par l'humanité depuis déjà très longtemps. C'est ainsi que l'on revisite aujourd'hui des types de béton et mortiers comme le béton « romain » (terre, chaux et cendres), en essayant de mieux comprendre les réactions physiques et chimiques induites par le mélange d'une terre argileuse, de chaux et de cendres végétales ou d'origine volcanique. Ce sont des modes de stabilisation par réaction pouzzolanique (du nom des sols volcaniques de la région de Pouzzoles en Italie) qui améliorent la structure des terres argileuses par génération de nouveaux cristaux venant compenser une fraction sableuse faible. Ce processus est aussi désigné par le mot géopolymérisation. On explore également d'autres processus de stabilisation des terres argileuses à partir de l'ajout de diatomées, algues microscopiques unicellulaires caractérisées par une enveloppe siliceuse externe. Ils participent de ce que le français Jacques Livage a conceptuellement dénommé « chimie douce » directement inspirée de la nature et des capacités des êtres vivants à produire de nouveaux produits par la voie de procédés « sol-gel » (réactions en jeu dans les

polymérisations organiques). Dans la même direction de recherche, on explore plus avant les réactions de durcissement naturel de certains sols au contact de l'air, un processus chimique résultant de la présence d'oxydes de fer comme c'est le cas des latérites. La recherche viserait à permettre un contrôle et une reproduction de ce phénomène de durcissement des argiles contenues dans les latérites en ajoutant des oxydes de fer. De telles recherches méritent certainement d'être développées par des laboratoires de physique et chimie, en coopération scientifique internationale **(R.21)**⁵³.

D'autres voies de recherche sur la stabilisation des terres explorent le domaine des composites argiles + biopolymères. Ces voies explorent plus précisément la création de ponts organiques entre les argiles qui contribuent à l'élévation de la cohésion. Ces ponts résultent de l'action de macro molécules organiques – ou biopolymères – à faible charge électrique de surface. Ce sont notamment les polysaccharides tels que la cellulose, l'amidon, la dextrine, les pectines, les mucilages et les gommes. Mais aussi les protéines telles que caséines, collagènes ou gélatines. Ces biopolymères agissent comme agents gélifiants – ou épaississants – qui renforcent la cohésion. Ce sont des réactions physico-chimiques entre l'argile et les biopolymères qui se situent à l'échelle nanoscopique et qui génèrent des systèmes colloïdaux. Plusieurs exemples sont donnés dans la nature : les terres des termitières qui procèdent d'un mélange entre fibres végétales, excréments et salive des termites, ou encore les nacres qui constituent un complexe organo-minéral de couches superposées de cristaux d'aragonite (90% de CaCO_3), très bien organisées, avec des couches intermédiaires de protéines (polymères organiques). Des chercheurs ont déjà exploré la possibilité de recréer de la nacre artificielle (Tang et al. 2003). La stabilisation des argiles, et donc des terres argileuses par l'ajout de biopolymères pourrait aboutir à des résultats étonnants et mérite d'être explorée plus avant **(R.22)**.

La construction en terre souffre de la mauvaise réputation d'être très sensible à l'eau qui pénètre dans l'épaisseur du matériau et modifie ses états de plasticité pouvant engager des processus de réduction de la résistance et de dégradation structurelle. C'est pourquoi la recherche a notamment exploré le principe de l'hydrophobisation ou repellence (répulsivité) au moyen d'incorporation de molécules hydrophobantes qui seraient en mesure d'assurer une meilleure protection contre l'eau. C'est par exemple le cas des molécules amphiphiles qui sont des biopolymères dotées d'une partie polaire hydrophile et d'une partie apolaire hydrophobe / lipophile. C'est le cas des huiles modifiées et des graisses ou encore de l'albumine (glycoprotéine) du sang, du blanc d'œuf ou du lait. Ces pratiques de stabilisation par hydrophobisation sont repérées dans plusieurs traditions de construction en terre et rapportées dans la littérature, notamment pour des pratiques de réalisation d'enduits en terre, ou de mortier à bâtir, sans avoir été scientifiquement explorées **(R.23)**.

Une autre recherche de caractère plus global s'impose aujourd'hui en matière de stabilisation des terres pour construire et pourrait faire l'objet d'une ou plusieurs thèses de doctorat. Il s'agirait de réaliser une synthèse sur la stabilisation des sols et des terres dans le domaine de la géotechnique et de la construction au cours de l'histoire, ancienne et récente. Elle permettrait de revisiter tous les principes, moyens,

⁵³ Le laboratoire CRATerre-ENSAG codirige actuellement deux recherches en thèse doctorale menées par deux de ses jeunes chercheurs, Romain Anger et Laetitia Fontaine, qui engagent des collaborations avec l'unité de recherche MATEIS (Matériaux Ingénierie et Sciences) du CNRS (INSA de Lyon) et le Laboratoire de physico-chimie structurale et macromoléculaire de l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris (Professeur Henri Van Damme).

et mécanismes de la stabilisation des terres et tous les produits naturels synthétiques et commerciaux qui ont été utilisés ou qui ont fait l'objet d'investigation plus récente. Cette synthèse (**E.8.**) développerait ce qui a déjà été présenté dans la littérature de référence⁵⁴ et permettrait une actualisation des connaissances de façon à mieux orienter les recherches dans le domaine. Elle revisiterait notamment :

- la densification mécanique (évacuation de l'air contenu dans la matière) ;
- la densification par comblement des vides (agir sur l'empilement des grains) ;
- la stabilisation par armature de fibres végétales, animales, minérales ou synthétiques ;
- la stabilisation par cimentation et création d'une matrice inerte, relativement indépendante des argiles, qui s'oppose à tout mouvement dans la structure de la terre (ajout de ciment, de silicate, de résines ou colles) ;
- la stabilisation par création de liens à partir d'une matrice inerte formée « par » les argiles (on agit sur les charges négatives ou positives des plaquettes argileuses ou leur composition chimique), ou à partir d'une matrice inerte formée « avec » les argiles (réaction pouzzolanique obtenue avec la chaux) ;
- l'imperméabilisation par remplissage des vides à l'aide d'un produit insensible à l'eau (bitume par exemple), ou par dispersion d'un produit dans la terre qui s'expande au contact de l'eau et obture les pores ;
- l'hydrofugation par modification de l'état de l'eau, par échange ionique ou par fixation de molécules hydrofuges.

Chap. 4 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap. 4 – Recherches

- Chap. 4 – **R.21.** – Développer les recherches sur la stabilisation des terres argileuses par cimentation « douce » : réaction pouzzolanique ou géopolymérisation ;
- Chap. 4 - **R.22.** – Développer les recherches sur la biopolymérisation des terres argileuses : macromolécules organiques, systèmes colloïdaux ;
- Chap. 4 – **R.23.** : Développer les recherches sur l'hydrophobisation des terres argileuses : molécules hydrophobantes et protection contre l'eau ;

Chap. 4 – Etudes et activités

- Chap. 4 – **E.8** : Etablir une synthèse globale sur la stabilisation du matériau terre : bilan des systèmes, produits, mécanismes, réactions, variables, critères de convenance, etc.

⁵⁴ Notamment dans Houben et Guillaud 1989, ibid.

4.5. - Chapitre 5 : Les éléments de construction et l'architecture

Synthèse de l'état de l'art

Chap. 5 - Les principaux acquis et manques à combler

La nécessité d'apporter de nouvelles réponses architecturales et urbaines aux grandes et graves questions environnementales, sociales et économiques qui accompagnent la mise en œuvre du développement durable, oblige à repenser fondamentalement la notion de « culture » constructive, architecturale et urbaine à la lumière du concept d'habitat « éco-responsable ». Il s'agit là d'une remise en question fondamentale des savoirs et des savoir-faire qui régissent la production de l'habitat, ses modes et ses processus, afin de retrouver une relation d'équilibre avec les territoires, leurs ressources physiques, humaines, culturelles et économiques (respect, préservation, développement et mise en valeur). Cette habitat « éco-responsable » peut en effet bien se définir comme une architecture et un urbanisme du « lien » recréé avec l'environnement naturel, culturel et humain. Les nouvelles réponses ne peuvent se restreindre à leur seule dimension « technique ». En effet, même s'il est absolument indispensable de tendre vers une éco-responsabilité technologique (maîtrise énergétique et réduction drastique des impacts négatifs sur l'environnement physique et humain), il importe de viser simultanément une amélioration du cadre de vie (échelle des espaces et des usages) et son application sociale plus généralisée (pour les fractions de population les plus démunies, notamment). C'est donc aussi la question de l'accession sociale et économique au logement pour le plus grand nombre qui est posée, soit un objectif à la fois qualitatif et quantitatif dont l'échelle appréhendée est immense au plan planétaire et donc des nations. De ce fait c'est la recherche scientifique et technique dans le domaine de l'ingénierie des matériaux, de la construction et de l'architecture, qui est directement sollicitée pour « innover ». Car il n'est pas envisageable de faire du développement durable avec les outils, les moyens et les modes d'action d'un développement « non » durable. Nous vivons aujourd'hui, à l'échelle globale, comme aux échelles « locales », dans un monde en grande évolution, voire mutation, qui affronte davantage de complexité. A la « rareté » culturelle résultant de la diffusion d'une technologie globale on doit opposer la « diversité » culturelle qui résultera de nouvelles synthèses dans l'espace, le temps et les contextes actuels. C'est peut-être entre tradition et modernité dans un *continuum* des intelligences constructives éprouvées mais recrées, en trajectoire d'innovation que seront définies ces nouvelles synthèses. Celles-ci seront sans doute issues d'un nouveau processus d'expérimentation qui produira de nouveaux savoirs (connaissances) et nouveaux savoir-faire (pratiques, expérience) articulant ainsi les ressources cognitives et pragmatiques de nouvelles cultures constructives intelligentes et « soutenables » pour une architecture éco-responsable. Voilà donc bien toute l'importance de l'expérimentation et sa valeur « heuristique » pour les sociétés humaines dans des contextes des plus divers au niveau planétaire.

L'expérimentation qu'il convient désormais de développer, en matière d'habitat éco-responsable, implique un changement d'échelle, de modes et de processus exploratoires. Il ne s'agit plus seulement d'expérimenter à l'échelle des « produits » (matériaux, composants) mais à l'échelle « grandeur réelle » sur des « prototypes »

d'habitat. La réalisation de ces prototypes doit à la fois explorer l'innovation technologique, constructive et architecturale (matières et matériaux, structure, espace et forme), l'innovation « sociale » (réponse à de nouveaux besoins de qualité écologique exprimés par une demande « citoyenne », valeur ajoutée humaine), et l'innovation « économique » (faisabilité, réduction des coûts et accessibilité financière, création de travail). Elle ne peut donc s'envisager que dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire (les universités, leurs facultés ou départements d'architecture, les partenariats scientifiques entre les sciences fondamentales et humaines, le milieu des enseignants, chercheurs et étudiants, constituent alors un cadre privilégié), et d'une approche pluri professionnelle (centre de recherche sur les matériaux et les technologies, ingénieurs, énergéticiens, architectes, entreprises et industries). Pour cela, la mise en place de plateformes d'expérimentation sur prototypes innovants d'habitat éco-responsable, doit être envisagée. La France l'envisage actuellement comme prolongement de 10 années de développement des Grands Ateliers de la Ville Nouvelle de l'Isle d'Abeau⁵⁵ qui ont contribué à une évolution considérable de l'enseignement de la construction et de l'architecture dans son rapport à l'expérimentation et à la recherche-action à échelle grandeur réelle. De telles plateformes permettraient une mise à disposition de prototypes pouvant faire l'objet d'analyses sur la durée, de favoriser le montage de partenariats entre enseignants, chercheurs, étudiants en master et préparant leur diplôme d'architecte et d'ingénieur, de doctorants (chercheurs), le monde de la recherche scientifique, le monde professionnel et industriel, sur des sujets nécessitant une expérimentation en grandeur réelle et sur une longue durée. Les thématiques de d'expérimentation peuvent être très ouvertes en abordant la question des matériaux, de leur détournement et leur hybridation, des assemblages innovants de composants, des systèmes constructifs, des structures, des espaces, volumes et formes, des ambiances (lumineuses, sonores, thermiques), des performances techniques, énergétiques. Ces thématiques peuvent être aussi élargies à des prototypes d'habitat économique, écologique ou d'urgence, à l'étude de nouvelles solutions de densité, peuvent développer un véritable « manifeste » pour un habitat éco-responsable. Ce sont des plateformes d'expérimentation et d'étude qui pourraient aussi contribuer à des modifications et mises au point, à des améliorations de performances, à des certifications et réglementations, à une évolution des normes (notamment pour les matériaux « naturels ») tout en offrant à « voir » (présentation des prototypes aux acteurs de la construction, aux décideurs, au public). Elles permettraient également, une fois les innovations mises au point de faire de la formation professionnelle pour la diffusion des nouvelles solutions constructives et architecturales. On ne peut donc ici qu'encourager cette perspective de recherche et expérimentation développée en lien avec une plateforme de prototypes où l'architecture de terre, entre autres matériaux et cultures constructives, trouvera sans doute une bonne place **(R.24.)**. La République de Corée, le DOA-MNU, peuvent aussi envisager de se rapprocher des Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, en France, renforcer leur coopération scientifique avec l'équipe du laboratoire CRATerre-ENSAG, du laboratoire « Cultures constructives », et du Master « Architecture et cultures constructives » pour définir et développer ensemble un programme

⁵⁵ Il s'agit d'un Groupement d'Intérêt Public qui rassemble une douzaine de partenaires, écoles d'architecture, d'ingénieurs et d'art travaillant avec des partenaires industriels (industrie de l'acier, des bétons, des polymères). Les Grands Ateliers sont un véritable chantier permanent de recherche et d'innovation mais aussi un lieu d'enseignement de la construction à échelle grandeur. L'expérimentation est le principal levier d'une heuristique créative et innovante totalement ouverte à tous les possibles.

d'expérimentation sur prototypes ou pour participer à des activités montées en synergie de partenariat.

Simultanément, il apparaît particulièrement important de dynamiser la mise en situation de compétition et concours internationaux des universités et leurs départements d'architecture, des professionnels, sur cette thématique de l'habitat éco-responsable. Les enseignants et les étudiants du Master « Architecture et cultures constructives » de l'ENSAG participent actuellement à une exposition de projet organisée par la Cité de l'Architecture de Paris sur cette thématique, qui met en compétition 5 écoles d'architecture de France. Parmi les projets lauréats qui seront exposés il est envisagé d'en retenir qui pourront faire l'objet d'expérimentation sur prototypes pouvant être réalisés dans le cadre d'un évènement annuel, « *Solar Event* », organisé par l'Institut National de l'Energie Solaire (INES), à Chambéry (Savoie, France). Dans la trajectoire de cette démarche, le l'ENSAG et son Master « Architecture et cultures constructives » ont été retenus pour participer à la grande compétition internationale « *Solar Decathlon* » qui se déroulera à Madrid, Espagne, en 2010. Ce sont là des situations particulièrement dynamiques pour la recherche et l'expérimentation grandeur en conditions réelles. On peut par exemple imaginer une grande compétition sur projets qui serait organisée par la Chaire UNESCO « Architecture de terre, cultures constructives et développement durable » à laquelle seraient associées les universités membres du réseau de cette chaire qui rassemble aujourd'hui 26 institutions au niveau international (Europe, Asie, Amérique, Asie) et dont le DOA-MNU fait partie **(E.11.)**.

L'accessibilité sociale et économique à l'habitat a été relevée comme l'une des questions majeures de la société planétaire actuelle. La Corée n'échappe sans doute pas à cette situation qui ne concerne plus seulement les pays en développement du « Sud » mais qui gagne de plus en plus les pays industrialisés du « Nord » où le creusement des écarts sociaux et économiques issus de situations économiques difficiles (endettement, perte d'emploi, chômage), prennent des formes parfois dramatiques et augmentent la précarité sociale et le nombre des sans abris. Dans ce cadre de préoccupation, le matériau terre et les cultures constructives et architecturales de la terre crue, l'hybridation entre le « low-tech » (matériaux et cultures traditionnels) et le « high-tech » (haute technologie), sont en mesure d'apporter des réponses dont la faisabilité économique et sociale doit être vérifiée puis démontrée. Cette faisabilité est liée à une recherche et expérimentation innovante qu'il convient d'encourager **(R.25.)**, notamment dans les universités et leurs départements d'architecture, dans le sillage de ce qu'a pu développer, par exemple, en Alabama aux Etats-Unis, l'équipe de Rural Studio qui fut fondée par le professeur Samuel Mokbee.

Les recherches et applications architecturales innovantes, issues d'une longue tradition de l'architecture troglodytique ou enterrée, menées en lien avec les architectures bioclimatiques (solaires passives), étaient à la pointe dans les années 1970, notamment aux Etats-Unis (Université du Minnesota, par exemple). Elles n'ont pas connu le développement qui semblait pourtant ouvrir une nouvelle trajectoire d'innovation « intelligente » située entre tradition (héritage patrimonial) et modernité (nouvelles technologies), entre « nature » (paysage) et « culture constructive » en évolution (savoirs et savoir-faire traditionnels revisités), ayant eu à résoudre des contraintes d'ordre technique, économique et de qualité architecturale (qualité des

espaces et des ambiances dont manque de lumière naturelle) qui n'ont pas trouvé toutes les réponses satisfaisantes. Entre enterrement partiel et extension bioclimatique ouvertes sur le territoire, gestion optimale des mouvements de terres, évolution récentes des techniques de végétalisation des toitures, nouveaux équipements de contrôle des consommations énergétiques et dispositifs « actifs » générateurs d'énergie, ces architectures mériteraient d'être à nouveau explorées et expérimentées **(R.26.)**. Les reliefs collinaires des paysages naturels de la République de Corée offrent un potentiel d'exploitation pour de telles architectures.

Les pavements en terre coulée, au moyen de mortiers à propriétés rhéologiques contrôlées (plasticité, viscosité, liquidité) et stabilisés (à la chaux, notamment) ont été explorés et ont fait l'objet d'applications qui semblent retenir à nouveau l'intérêt du public et des professionnels. La technologie est suffisamment maîtrisée pour ne pas avoir à faire l'objet de développements complémentaires. D'autres solutions de sols en terre damée, stabilisés, avec couche de surface résistante au poinçonnement, ont été également expérimentées mais n'ont pas fait l'objet de développements très significatifs. Les modes de stabilisation, les performances de résistance à l'érosion, aux chocs et au poinçonnement, devraient être de nouveau explorés et expérimentés d'autant que de tels sols en terre, à forte inertie, présentent aussi un grand intérêt pour le stockage et la restitution déphasée des énergies (gain solaire direct notamment) et la régulation hygrothermique des espaces. De même, si les solutions en voûtains de briques de terre crue, héritières d'une tradition de l'architecture industrielle du 19^{ème} siècle en acier et brique cuite, ont été expérimentées dans les années 1980, la recherche sur les éléments en terre crue du type hourdis ou rouleaux intercalés entre des solives de planchers pouvant servir de support à des chapes en béton de terre stabilisée coulée, n'a pas été suffisamment explorée. Comme d'ailleurs d'autres types de composants comme des dalles ou dallages en terre armée devraient aussi faire l'objet de recherche⁵⁶ **(R.27.)**.

L'isolation des murs extérieurs comme intérieurs construits en terre (pisé ou bloc de terre comprimée, par exemple) soulève le problème de la compatibilité des matériaux utilisés. En effet, la plupart des matériaux industriels distribués sur le marché ne sont pas ou peu adaptés, ou contribuent à supprimer les propriétés utiles de la terre pour la régulation des ambiances (absorption et échanges d'humidité) et un meilleur contrôle des consommations énergétiques (stockage et restitution calorique). Les recherches sur les bétons de terre allégée (terre et chanvre, terre et copeaux de bois, autres charges végétales légères), sur les composants de doublage (briques ou panneaux en terre-paille), doivent être soutenues pour évoluer vers des certifications de produits et recommandations de mise en oeuvre, de manière à ce que le marché puisse prendre de l'ampleur et répondre aux attentes sociales et professionnelles exprimées en faveur de ce type de matériaux de construction plus compatibles et plus écologiques **(R. 28.)**.

Le développement de la construction et de l'architecture en terre en République de Corée, comme en d'autres pays et régions du monde, appelle la définition et diffusion d'outils de travail de référence pour les concepteurs de projets (architectes et ingénieurs), pour les constructeurs (entreprises) mais aussi pour les bureaux du

⁵⁶ Un chercheur péruvien, David Guzman, a réalisé une thèse à l'EPFL de Lausanne, en Suisse, sur les dalles en terre armée de bambou. Un projet récent d'école, au Bangladesh, de l'architecte autrichienne Ana Heringer, réalisé en collaboration avec l'ingénieur allemand Christoph Ziegert (ZRS) a également développé un système constructif de plancher en bambou et terre. Ce projet remarquable a été lauréat de la Fondation Aga Khan, en 2007.

contrôle techniques, les financeurs (banques et maîtres d'ouvrages), et les assurances professionnelles. Sans évoluer immédiatement vers des normes – bien que cela doive être envisagé nécessairement comme on l'a précédemment relevé – une première étape consisterait à mettre à disposition des acteurs de la production du cadre bâti un ensemble de spécifications et recommandations techniques couvrant les principales techniques de construction en terre. Il existe dans ce domaine une littérature technique internationale abondante qui pourrait être revisitée et analysée, pour être adaptée au contexte coréen (**E.9.**). Il en va de même pour la préparation, l'édition et la diffusion de guides de conception (matériaux, structures et systèmes constructifs) et construction pour l'architecture de terre (**E.10.**). De tels documents pourraient résulter de recherches réalisées par des doctorants en ingénierie ou en architecture, ou être préparés par des professionnels qui ont déjà une bonne expérience de projet et de chantier dans ce domaine.

Chap. 5 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap.5 – Recherches

- Chap. 5 – **R.24.** : Développer un programme de recherche et d'expérimentation sur l'habitat éco-responsable dans le contexte coréen mobilisant les ressources de l'architecture en terre : parc de prototypes mettant en œuvre de nouvelles dispositions constructives en terre et autres matériaux naturels, nouvelles solutions énergétiques (systèmes passifs et actifs), exploitation des caractéristiques thermiques et hygrothermiques du matériau terre ;
- Chap. 5 – **R.25.** : Développer un programme sur l'architecture en terre très économique pour l'accessibilité à l'habitat des plus démunis dans le contexte coréen ;
- Chap. 5 – **R.26.** : Explorer à nouveau les solutions d'architecture enterrée : approche écologique et énergétique ;
- Chap. 5 – **R.27.** : Développer les recherches et expérimentations sur les pavements et sols en terre : terre damée, éléments de remplissage (voûtains et hourdis) pour structures de planchers, dalles en terre armée, etc.
- Chap. 5 – **R. 28.** : Développer les recherches et expérimentations sur les matériaux en terre allégés pour l'isolation intérieure et extérieure : mélanges de terre allégée coulée, terre allégée projetée, panneaux isolants ;

Chap.5 – Etudes et activités

- Chap. 5 – **E.9.** : Développer des spécifications et recommandations techniques pour les principales techniques de construction en terre applicables au contexte coréen ;
- Chap. 5 – **E.10.** : Préparer un guide de construction en terre et de conception architecturale utilisant les matériaux et techniques de construction en terre ;

- Chap.5 – **E.11.** : Dynamiser les situations de concours, expositions de projets innovants d'habitat éco-responsable mobilisant les ressources de l'architecture de terre et autres matériaux naturels, proposant de meilleures solutions énergétiques globales, entre les départements d'architecture et d'ingénierie des Universités et le milieu professionnel (architectes, bureaux d'études, industriels de la construction)

4.6. - Chapitre 6 : La protection de surface, les arts plastiques et la décoration

Synthèse de l'état de l'art

Chap. 6 - Les principaux acquis et manques à combler

Il existe dans le monde une grande diversité de modes et formes d'utilisation de la terre pour la réalisation de solutions de protection de surface ou de revêtement des murs mais aussi à des fins décoratives et esthétiques. Ce sont les traditions des enduits, badigeons et peintures à base de terre argileuse qui exploitent aussi le plus large éventail des colorations naturelles de la matière (terres oxydées, ocres). Parmi ces traditions, celles qui ont été développées dans les pays d'Asie (au Japon et en Corée, notamment), ou sur le continent africain (région soudano sahélienne), sont sans doute les plus remarquables car le plus souvent associées à une recherche artistique et décorative qui va bien au-delà de la seule fonction de protection des murs (pays européens). Les savoirs et savoir-faire concernant ces pratiques de protection de surface ont soit disparu, soit sont en cours de disparition. La question de la compatibilité des solutions d'enduits, peintures et badigeons avec les maçonneries en terre crue exclue l'emploi de mortiers « durs » et peu perméables aux transferts et échanges de vapeur et humidité qui contribuent à une régulation des ambiances thermiques et du confort (cycle d'absorption et d'évaporation). C'est ainsi que les enduits au ciment doivent être totalement proscrits car ils sont trop rigides et imperméables, et créent des pathologies structurelles graves (rétention d'humidité à l'interface mur de terre et enduit, changement de l'état de plasticité du matériau dans son épaisseur). Par contre, les enduits, badigeons et peintures à base de chaux aérienne (en pâte préparée à l'avance, ou en poudre) et sable se sont avérés très compatibles. Des solutions intermédiaires d'enduits à base de terre stabilisée à la chaux (mortiers « bâtards ») ou à base de stabilisants organiques d'origine animale (excréments animaux, graisses, caséine, ...) et végétale (huiles et graisses diverses, décoctions de plantes sous forme de jus) ont été largement développées en de nombreuses régions du monde (en Afrique, en Asie), cela depuis des époques très anciennes. Ces traditions font actuellement l'objet de recherches afin de les inventorier et de pouvoir mieux analyser les mélanges de terre et autres produits qui ont été ou sont encore utilisés. La recherche chimique plus récente a aussi exploré de nombreuses voies avec l'emploi de résines acryliques en émulsion, de silicate d'éthyle, d'hydrofuges et autres fixatifs de surface qui n'ont pas toujours produit des résultats satisfaisants, voire très contestables, inefficaces ou mauvais. Mais de nouvelles voies semblent s'ouvrir dans ce domaine de la stabilisation physico-chimique des terres comme on l'a précédemment relevé au chapitre 4. La question de la fixation des poussières de surface est aussi problématique mais on connaît de nombreuses pratiques qui ont donné pleine satisfaction, notamment avec l'emploi de cires naturelles. Il est aujourd'hui particulièrement nécessaire, alors que

l'intérêt populaire pour les enduits à base de terre semble revenir avec force en de nombreux pays (en Europe notamment), pour leur qualité écologique (pas d'émissions polluantes ou dommageable pour la santé), pour leur qualité décorative mais aussi pour leur qualité de régulation des ambiances de confort visuel, acoustique, olfactif et thermique, de développer les recherches et expérimentations sur les enduits, badigeons et peintures à base de terre naturelle. Ces recherches doivent être en mesure de mieux connaître le comportement de ces solutions d'enduits en terre, d'expérimenter et mesurer les propriétés d'adhérence, de résistance mécanique aux chocs et à l'érosion de surface, de vieillissement, mais aussi les propriétés et les performances de régulation thermique et des ambiances de confort (propriétés hygrométriques, absorption de l'humidité, amortissement des températures). Il est également nécessaire d'engager des recherches et expérimentations, mesures, sur l'application d'enduits à base de terre sur d'autres types de supports comme des isolants à base de matériaux naturels (panneaux en fibres de bois, mélange de terre et copeaux de bois, panneaux et briques de chanvre, ouate de cellulose, par exemple). Il est également indiqué de développer des expérimentations sur la compatibilité des peintures actuellement disponibles sur le marché, notamment d'origine synthétique, avec les supports en maçonnerie de terre **(R.29)**.

Les solutions de protection extérieure et intérieure des murs en terre au moyen de bardages ont été développées dans de nombreuses traditions. On a repéré des systèmes de bardages en bois (planches ou tuiles posées sur des cadres en bois ou liteaux fixés aux murs), des systèmes assimilables à de véritables armures ou carapaces en éléments de céramique (briques pleines, tuiles plates), voire des solutions en tôles embouties (au El Salvador, par exemple). Ces solutions paraissent aujourd'hui intéressantes à réhabiliter mais pour des logiques d'exploitation différentes, notamment pour revêtir des matériaux isolants en parement extérieur. Il existe aujourd'hui des solutions de revêtement en terre naturelle (pour les parements intérieurs) ou en terre stabilisée (pour les parements extérieurs) sur des supports en roseaux déroulés et fixés sur les parois (solution développée par l'entreprise *Claytec*, en Allemagne, et en France, par exemple). En République de Corée, l'équipe « *Architecture Community of Terra* » (ACT) du DOA-MNU a récemment développé des recherches et expérimentations sur l'utilisation de matériaux en terre stabilisée extrudée (briques et éléments de panneaux alvéolaires) qui méritent attention car ces matériaux offrent aussi des propriétés de régulation hygrométrique et des ambiances de confort thermique. Ces recherches et expérimentations mériteraient d'être associées au développement d'éléments décoratifs en proposant un catalogue de matériaux aux textures et couleurs, motifs et reliefs variés **(R.30)** pouvant être utilisés en revêtement intérieur et cloisons.

D'une manière générale, il apparaît particulièrement indiqué, pour promouvoir une nouvelle image de qualité de la construction et l'architecture de terre, de dynamiser les recherches et créations dans le domaine des arts plastiques. Le renouveau d'intérêt pour les enduits à base de terre, dans les pays d'Europe (Allemagne, Autriche, France) que l'on évoquait précédemment, montre que cet attrait pour la beauté de la matière et ses valeurs phénoménologiques et plastiques jouent aujourd'hui un rôle très porteur pour lever des obstacles de nature psychologique et mentale entretenus vis-à-vis du matériau terre et de son emploi en construction. L'organisation d'événements artistiques tels que biennale des arts de la terre,

festivals et expositions d'œuvres d'artistes utilisant le matériau terre, l'intégration de cette approche plastique créative en lien avec les écoles d'arts et d'architecture est sans aucun doute une voie stratégique qui mérite le soutien des institutions culturelles **(R.31)**.

L'inventaire des traditions vernaculaires populaires (habitat rural) et des traditions savantes (liées à une architecture historique de caractère privé – aristocratique - et publique plus monumentale, ou religieuse – temples bouddhiques) qui ont valorisé l'emploi du matériau terre pour la décoration de surface en Corée (enduits et peintures) devrait être fait. Il permettrait de bien repérer les exemples peut-être hélas déjà rares, qui existent encore sur le territoire et d'engager une politique de conservation et mise en valeur. Il permettrait aussi de revaloriser une grande tradition artistique et artisanale, mais aussi de mieux étudier et analyser les savoirs et les savoir-faire délaissés, voire disparus constituant un patrimoine de valeur à la fois tangible et intangible (artistique, spirituel). Il permettrait de mieux connaître les types de terre et d'éventuels modes de stabilisation du matériau, les pratiques d'exécution qui ont été employés par les anciens. Cette étude constituerait alors un corpus de savoirs de référence qui pourrait être directement utile à une relance des métiers d'art et d'artisanat dans ce domaine **(E.12)**.

Chap. 6 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap.6 – Recherches

- Chap. 6 – **R.29** : Développer les recherches et expérimentations sur les enduits, badigeons et peintures à base de terre naturelle et à base de terre stabilisée : tests d'adhérence, de résistance mécanique, mesures de régulation thermiques et hygrométriques ;
- Chap. 6 – **R.30** : Développer les recherches et expérimentations sur les éléments de bardage en terre stabilisée pour la protection, isolation et décoration des parements extérieurs ;
- Chap. 6 – **R.31** : Dynamiser les recherches et les expérimentations dans le domaine des arts plastiques et de la décoration en utilisant les ressources esthétiques du matériau terre : textures, couleurs, etc ;

Chap.6 – Etudes et activités

- Chap. 6 – **E.12** : Etudier et inventorier tous les types d'enduits et peintures en terre existant dans la tradition coréenne : corpus des savoirs et savoir-faire qui ont été développés dans l'architecture monumentale et vernaculaire coréenne ;

4.7. - Chapitre 7 : La conservation du patrimoine architectural en terre

Synthèse de l'état de l'art

Chap. 7 - Les principaux acquis et manques à combler

La recherche scientifique couvrant le domaine spécifique de la conservation des architectures de terre a considérablement progressé au cours des 40 dernières années. Les échanges de connaissances issus de ces recherches et d'expériences résultant de projets de conservation menés sur le patrimoine mondial archéologique et le patrimoine architectural historique en terre ont avantageusement bénéficié des plateformes et tribunes offertes aux chercheurs et professionnels par les grandes conférences internationales qui se sont succédées depuis le début des années 1970⁵⁷. Plus récemment, dans le cadre du programme de recherche du « Projet TERRA »⁵⁸ le *Getty Conservation Institute* (GCI) a confié au CRATerre la direction scientifique d'une revue de la littérature des 15 dernières années du XX^{ème} siècle dans le domaine de la conservation des patrimoines architecturaux en terre. Cette recherche a associé un corpus de chercheurs nord-américains et vient d'être éditée par le GCI au cours de ce mois de novembre 2008⁵⁹. Les principaux chapitres qui ont été développés dans cette recherche couvrent :

- Le matériau terre : minéraux argileux, géologie des argiles, compactage des sols ;
- L'eau, le vent, les sels, biologie, environnement et pathologie ;
- Le relevé et l'évaluation de l'état des ouvrages en terre ;
- Les interventions de conservation ;
- L'entretien des surfaces décorées ;
- La détérioration sismique et les interventions post-séisme ;
- Le monitoring de l'humidité et du contrôle biologique.

Cette recherche a permis d'évaluer l'état des savoirs et de l'art dans ce domaine de la conservation des architectures de terre et d'identifier les principaux axes de recherche prioritaires qui répondent aux besoins et aux attentes des professionnels dans le domaine. On ne reviendra pas ici sur les résultats et les conclusions de cette recherche qui sont accessibles dans le rapport récemment publié par le GCI que l'on a précédemment référencé. Par contre, on peut ici relever un ensemble de domaines et directions de recherche qui apparaissent indispensables à mieux appréhender et développer afin de résoudre des problèmes qui demeurent cruciaux. Il s'agit :

- Du domaine de la détérioration et des pathologies des ouvrages en terre. Ce domaine expose des problèmes différents lorsque les ouvrages sont de nature archéologique et abandonnés, ou lorsque les ouvrages sont de nature historique, non utilisés ou utilisés. Ainsi, la problématique de la conservation préventive et de l'entretien des structures en terre soulève un faisceau de questions majeures. Au-delà de problèmes qui peuvent être considérés de nature presque universelle car comparables du point de vue des symptômes évidents et similaires pour des régions différentes du monde, les conditions d'environnement spécifique (latitude et climat locaux, nature des matériaux, degré d'élaboration des cultures

⁵⁷ Citons ici les grandes conférences internationales de Yazd, Iran, en 1972 et 1974, 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 et enfin la dernière grande conférence de Bamako, Mali, de février 2008. On ne peut ici dénombrer tous les nombreux autres événements scientifiques qui ont couvert les problématiques de la conservation des architectures de terre au niveau des nations et qui sont organisées régulièrement, sur tous les continents.

⁵⁸ Ce projet qui définissait un programme d'activités de formation, recherche, développement de projets et diffusion des connaissances a été défini en 1996 par le CRATerre-ENSAG, le Getty Conservation Institute et l'ICCROM. Il s'est conclu en 2007 après la réalisation de cours régionaux panaméricains et le développement de plusieurs programmes de recherche.

⁵⁹ **Avrami Guillaud et Hardy 2008** : AVRAMI (E), GUILLAUD (H), HARDY (M), éditeurs, et VELDE (B), CANCINO (Cl.), RAINER (L), RIDOUT (B), WEBSTER (F), OLIVER (A) – *Terra Literature Review ; an overview of research in earthen architecture conservation*, éditions du Getty Conservation Institute, Los Angeles, Etats-Unis, novembre 2008, 159 p. Le rapport final de cette recherche est accessible en libre accès sur le site du Getty Conservation Institute.

constructives) soulèvent tout un ensemble de problèmes particuliers. Hors de l'espace des laboratoires d'analyses qui appréhendent pour l'essentiel des problématiques liées à la dégradation du matériau, l'étude et l'analyse des processus de détérioration en situation réelle, sur les sites archéologiques, sur les ouvrages historiques et les patrimoines bâtis vernaculaires, s'avère toujours nécessaire et riche d'enseignements. Notamment du fait du changement d'échelle des études et des analyses (de l'échelle du matériau à l'échelle des ouvrages, des sites et de l'environnement). Il est ainsi possible de dresser des typologies de symptômes, de modes et processus de détérioration qui sont spécifiques à des contextes particuliers et de mieux évaluer les causes et leurs origines. Les recherches et études sur les formes, conditions et analyses des causes de détérioration des ouvrages en terre ont été développées dans de très nombreux contextes et il serait sans doute nécessaire de bien les documenter pour le contexte de la Corée à partir de l'étude et l'analyse d'un corpus architectural sélectionné, représentatif de la diversité des typologies d'ouvrages et de situations physiques et climatiques **(R.32.)**. C'est là un sujet d'intérêt pour une recherche en thèse doctorale.

- Du domaine plus spécifique de la dégradation du matériau terre et des ouvrages construits en terre résultant de la cristallisation saline. En effet, la majorité des recherches qui ont été développées jusqu'alors ont principalement porté sur les pierres poreuses⁶⁰ et les conclusions de ces recherches ont été appliquées par analogie au matériau terre et aux ouvrages construits en terre. La grande versatilité du matériau, selon les types de terre et leurs propriétés minéralogiques, physiques et chimiques, la nature des sels en présence dans le matériau (types de sulfates, de carbonate ou chlorure) et leur degré de solubilité, les types de matériaux et techniques mis en œuvre qui confèrent des propriétés différentes de densité et porosité, les variations de température et d'humidité selon les climats et les saisons, les mécanismes de migration de l'humidité (ascension capillaire ou flux de vapeur d'eau), la fréquence des cycles de mouillage et séchage (évaporation) du matériau, sont autant de facteurs qui agissent sur le phénomène de cristallisation saline (efflorescences de surface et inflorescences dans l'épaisseur de la matière), l'importance de la porométrie (texture plus ou moins ouverte) et l'expansion du matériau terre. Les principaux protocoles de mesure développent des analyses en microscopie électronique au scanner (SEM). Une recherche spécifique, dans le contexte coréen, visant à approfondir le rôle joué par les différents facteurs à l'origine de la cristallisation saline, et leur degré d'importance, sur différents types de terre utilisées en construction, sur un corpus d'ouvrages (traditionnels et plus récents) et de localisation représentatif, contribuerait sans aucun doute aux connaissances encore trop lacunaires dans ce domaine **(R.33)**. Par ailleurs, les méthodes et protocoles de traitement des sels sur les matériaux poreux et plus particulièrement pour les maçonneries en terre, restent encore très empiriques : grattage au scalpel, léger brossage, solution d'eau saturée au bicarbonate de soude ou eau distillée, compresses d'eau déionisée, solution distillée d'alcool polyvinylique, pulpe de cellulose, ... Ils mériteraient d'être explorées plus avant pour mieux établir leur efficacité.

⁶⁰ L'une des recherches de référence a été réalisée par un chercheur italien : **Torraca 1968** : TORRACA, G. – *Porous building materials. Material science for architectural conservation*, éditions de l'ICCROM, Rome, Italie, 1968.

- Dans le domaine des dégradations de nature biologique dont l'évidence est le plus souvent manifestée par la présence de parasites végétaux, mousses, algues et lichens ou champignons, mais aussi par une activité bactérienne ou par la présence d'insectes et de rongeurs. La physiologie de la plupart des agents de détérioration biologique et la corrélation de leur activité avec des environnements spécifiques (ambiance humide pathogène) qui activent leur croissance, ont été étudiées mais principalement pour les constructions en pierre. Des recherches spécifiques doivent être réalisées pour les constructions en terre. Il apparaît désormais très important, au-delà de la seule prise en compte de l'impact d'une ambiance humide, de relier les processus de dégradation biologique avec les pollutions environnementales. Cette approche n'est pratiquement pas traitée à ce jour et l'on connaît pourtant l'impact des pluies acides sur les matériaux de construction poreux. De même il a été démontré que la pollution ambiante de l'air (saturation en gaz nocifs) a des effets directs sur l'activation des processus de dégradation des matériaux, y compris pour les structures en béton comme le montrent les dégradations d'un patrimoine d'époque moderne en régions tropicales humides, ou en contexte urbain très pollué (architecture moderne de la ville de São Paulo, au Brésil, par exemple, et ailleurs). D'autres voies de recherche mériteraient aussi d'explorer l'impact du réchauffement climatique (assèchement du matériau ou plus forte humidification et cycles plus fréquents de mouillage et séchage), et de la production de dioxyde de carbone (CO₂) sur les ouvrages **(R.34)**.

Enfin, il convient de relever toute l'importance qu'il faudrait accorder à l'identification et l'étude du patrimoine architectural en terre du pays et donc de procéder à la réalisation de son inventaire plus systématique. Cela paraît d'autant plus important que ce patrimoine, sous la poussée du développement moderne très rapide, a fait l'objet de nombreuses destructions et altérations ou d'un abandon d'usage, et donc d'arrêt d'entretien, qui l'ont grandement exposé à un processus de dégradation. Il existe encore sans aucun doute des ensembles d'habitat traditionnels, ou des exemples particulièrement représentatifs des principales typologies d'architecture en terre, témoignant d'une remarquable intelligence constructive et culture architecturale qui méritent d'être étudiés et conservés. Ne serait-ce que pour conserver la mémoire des savoirs et savoir-faire, mais aussi pour transmettre aux générations futures les valeurs culturelles, tangibles et intangibles, propres à l'histoire de la civilisation et de la société coréenne. Ces ensembles architecturaux ou établissements humains traditionnels, comme le montrent des sites exceptionnels que l'on a précédemment évoqués et qui sont classés, pour certains d'entre eux, sur la Liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO, témoignent aussi d'une relation d'échelle harmonieuse avec leurs environnements naturels et paysagers qui peuvent être inspirateurs pour le futur à bien des égards (repenser la relation de l'habitat avec le territoire). Cet inventaire pourrait amener à un classement sur la liste du patrimoine national **(E.13)** et peut-être, pour les exemples les plus remarquables à l'instruction de procédures d'inscription à la Liste Indicative du Patrimoine Mondial, étape qui précède la possibilité de réaliser une procédure de proposition à la nomination sur la liste prestigieuse de l'UNESCO **(E.14)**. Le développement de telles études répond aussi à l'enjeu du développement du tourisme culturel national et international.

L'intérêt qui pourrait se développer pour la restauration et réhabilitation du patrimoine architectural traditionnel et monumental en terre coréen pouvant encore être

sauvegardé, notamment par une réappropriation de l'usage (habitat, autres fonctions), appelle la mise à disposition d'outils de référence pour la conception et la réalisation des projets, destinés au public, aux maîtres d'ouvrages, aux architectes et aux entreprises. La préparation et l'édition d'un guide de restauration et réhabilitation, propre au contexte coréen, contribuerait à garantir une bonne qualité des interventions conservatoires en diffusant des recommandations et spécifications techniques (**E.15**). L'observation des pratiques de restauration et réhabilitation du bâti en terre, en de nombreux pays, montre en effet que bien des maladresses sont commises, que des matériaux et techniques incompatibles sont souvent employés (notamment pour la consolidation structurale et pour les enduits), et que cela génère souvent des pathologies à l'origine de nouvelles formes de dégradations qui peuvent être irréversibles (modification des états d'équilibre et écroulement des édifices, au pire des cas).

Chap. 7 – Rappel des suggestions de voies de recherche et d'étude à développer

Chap.7 – Recherches

- Chap. 7 – **R.32.** : Documenter et analyser tous les problèmes typiques liés au patrimoine architectural en terre, en Corée : pathologies de structure et d'humidité, problèmes de conservation préventive et d'entretien ;
- Chap. 7 – **R 33.** : Développer une recherche sur les processus de dégradation par les sels, les migration d'humidité et la porosité dans les matériaux de construction traditionnels en terre, en Corée ; mieux évaluer l'efficacité des protocoles de traitement pour l'architecture de terre.
- Chap. 7 – **R.34.** : Développer une recherche sur les processus de dégradation biologique des matériaux de construction en terre : parasites végétaux, mousses et champignons, insectes, rongeurs, etc. ; Mieux établir l'interrelation de ces processus biologiques avec les pollutions de l'environnement.

Chap.7 – Etudes et activités

- Chap. 7 – **E. 13.** : Identifier tous les sites de valeur patrimoniale, archéologique et historique bâtis en terre en Corée : établir une liste nationale ;
- Chap. 7 – **E.14.** : Identifier les sites de grande valeur patrimoniale bâtis en terre qui pourraient entrer sur la Liste indicative du Patrimoine Mondial de l'UNESCO ; préparer des dossiers de nomination.
- Chap. 7 – **E.15.** : Elaborer et proposer un guide pour la restauration et la réhabilitation du patrimoine architectural en terre, en Corée.

5 – Evaluation des priorités

5.1. – Mode d'évaluation et de classement des priorités

Les directions de développement pour les voies de la recherche terre en République de Corée, sont évaluées à plusieurs niveaux. D'une part au prisme d'une analyse globale de l'état de l'art au niveau international réalisée par notre laboratoire de recherche CRATerre-ENSAG, et d'autre part à partir d'un premier bilan des activités qui ont été engagées dans le pays au cours des 10 dernières années présenté par l'équipe du DOA-MNU. Cette analyse de l'état de l'art international et ce bilan du contexte coréen permettaient de proposer un premier corpus de 70 axes de recherche et d'étude qui étaient présentés avec un rapport intermédiaire lors d'un séminaire réalisé à Grenoble le 7 octobre 2008⁶¹. Ce corpus a été discuté entre les partenaires durant ce séminaire et il a été convenu que l'équipe coréenne devait préciser son analyse du contexte national afin d'affiner cette première étape d'identification des voies de la recherche.

L'équipe de Mokpo a restitué en novembre une analyse plus approfondie des forces, faiblesses, opportunités et menaces (SWOT) concernant chacun des axes de recherche et d'études au prisme du contexte coréen et le retour de cette analyse nous a permis de définir un corpus de recherche et d'étude mieux cerné et restreint à des directions présentant un fort potentiel d'exploration scientifique et expérimentale.

Les axes de recherche et d'étude qui sont suggérés restent dans un premier temps répartis dans les 7 chapitres que l'on a proposés pour structurer cette recherche et sont classés selon deux principales catégories :

Catégorie 1 : Connaissances scientifiques :

- Recherche fondamentale : matière terre, physique, chimie et biologie des sols, stabilisation, mortiers modifiés, propriétés et performances du matériau ;
- Sciences sociales et humaines (histoire, anthropologie, sociologie, économie), architecture, culture et patrimoine ;
- Environnement et développement durable : énergies et ressources, développement local ;

Catégorie 2 : Recherche opérationnelle et technique

- Recherche sur les matériaux de construction et les techniques, processus de production des matériaux, équipements, outils ;
- Recherche en construction : éléments et systèmes constructifs innovants, tests de comportement et mesures ;
- Recherche en architecture : conception de prototypes pour une architecture de terre « éco-responsable ».

⁶¹ **Guillaud et al 2008** : GUILLAUD (H), DOAT (P), ROLLET (P.), HOUBEN (H), GARNIER (Ph), FONTAINE (L), ANGER (R), JOFFROY (Th), MORISSET (S), GANDREAU (D), MOLES (O), et HWANG (H), CHO (M.) – *Earthen construction technology and architecture. Updating the state of the art and priority research trends proposals for Korea*, éditions CRATerre, Grenoble, France, 87 p.

C'est à la lumière de ces différents niveaux d'analyse successifs de la situation internationale et nationale, des contraintes, potentiels et besoins exprimés par notre partenaire, que nous sommes en mesure de mieux classer et ordonner les axes de recherche et études suggérés, puis d'établir les priorités. Ces priorités sont classées selon 5 niveaux :

- Priorité absolue ;
- Très haute priorité ;
- Haute priorité ;
- Priorité moyenne ;
- Faible priorité.

Dans un deuxième temps, nous établissons une matrice d'aide à la décision, sous forme de tableaux, qui propose le classement par niveaux de priorités. Cette matrice d'aide à la décision est restituée dans un deuxième rapport (vol. 2 / 2) qui se distingue de ce premier volume restituant l'analyse de l'état de l'art international et national ayant conduit à définir le corpus des directions de recherche.

Sur la base de cette aide à la décision, en fonction des opportunités qui se présenteront, le partenaire coréen sera en mesure de définir plus concrètement des documents de projets permettant de solliciter des bailleurs de fonds, publics et/ou privés, pour engager le développement des activités.

Dans le cadre de la convention d'échanges scientifiques et académiques qui associe le DOA-MNU avec l'ENSAG et son laboratoire CRATerre-ENSAG, des programmes de recherche et d'étude, en coopération internationale, pourront être envisagés sur la base de documents de projets concrets et mutuellement définis.

5.2. – Corpus des voies de la recherche terre pour la Corée

On se reportera au volume 2 / 2 de ce rapport final

6 – Bibliographie sélective des références exploitées

6.1. – Conférences internationales, colloques et séminaires régionaux récents

A.A.V.V. 1990: *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Adobe 90 Preprints.* Editions du Getty Conservation Institute, Los Angeles, Etats-Unis, 1990, 469 p.

A.A.V.V. 1993: *7a Conferência Internacional Sobre O Estudo e Conservação Da Arquitectura De Terra.* Editions de la Direcção Geral Dos Edifícios E Monumentos Nacionais, Lisbonne, Portugal, 1993, 659 p.

A.A.V.V. 2000: *8th International Conference on the study and conservation of earthen architecture. Terra 2000 Preprints.* Editions du English Heritage, Londres, UK, 2000, 452 p.

A.A.V.V. 2003: *9th International Conference on the study and conservation of earthen architecture. Terra 2000 Preprints.* Editions du Iranian Cultural Heritage Organization (ICHO), Téhéran, Iran, 2003, 666 p.

A.A.V.V. 2005 : - *Terra en seminário*, éditions Argumentum (Lisbonne) et Escola Gallaecia Superior de Vila Nova de Cervera, Portugal, 2005, 285 p.

A.A.V.V. 2006 : - *Terra : Forma de construir. Arquitectura, Antropologia, Arqueologia.* 10^o Mesa-Redonda de Primavera, éditions Argumentum (Lisbonne) et Escola Gallaecia Superior de Vila Nova de Cervera, Portugal, 2006, 144 p.

A.A.V.V. 2006 : ACHENZA, M., CORREIA, M., CADINU, M., SERRA, A, (coord.) - *Houses and cities built with earth. Conservation, significance and urban quality*, Séminaire du projet européen Culture 2000, 2005-2006, éditions Argumentum, Lisbonne, 2007, 159 p.

A.A.V.V. 2007 : – *Terra en seminário, V^o seminário Arquitectura de Terra em Portugal / Terra Brasil 2006 – I^o seminário Arquitectura E Construção Com Terra No Brasil*, éditions Argumentum, Lisbonne, Portugal, 2007, 285 p.

6.2. – Histoire des architectures de terre et des cultures constructives

A.A.V.V. 1985 : CSTB-CRATerre, Guillaud et al. : GUILLAUD, Hubert (rédacteur), HOUBEN, Hugo, DAYRE, Michel, DOAT, Patrice – *Réseau terre. Les actions futures du réseau terre français, volume 1*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, 1985, 144 p.

A.A.V.V. 1985 : CSTB-CRATerre, Guillaud et al. : GUILLAUD, Hubert (rédacteur), HOUBEN, Hugo, DAYRE, Michel, DOAT, Patrice – *Réseau terre. Les actions futures du réseau terre français, volume 2*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, 1985, 120 p.

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.

Dethier et al. 1986 : DETHIER, J., - *Architectures de terre ; ou l'avenir d'une tradition millénaire ; Europe, Tiers monde, Etats-Unis*, éditions du Centre Georges Pompidou, Paris, 1986, 224 p.

Guillaud 1997 : GUILLAUD, H. – *Pour une histoire des architectures de terre.* Mémoire de DPEA-Terre. EAG. Grenoble. France. 1997. 518 p.

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.

Shin 2000: SHIN, G. S. – *L'architecture en terre coréenne: le passé et le présent* (Korean earthen architecture: past and present), mémoire de DPEA-Terre 1998-2000 (dissertation of Earthen Architecture post-graduate course), School of Architecture of Grenoble, France, June 2000, 43 p.

Zerhouni et Guillaud 2001 : ZERHOUNI, Selma, GUILLAUD, Hubert – *L'architecture de terre au Maroc*, éditions ACR, Paris-Courbevoie, 2001, 312 p. Plus récemment, une initiative similaire a été

prise par le Portugal. **AA.VV. 2005** : 54 auteurs - *Arquitectura de Terra em Portugal*, éditions Argumentum, Lisbonne, 2005, 300 p.

6.3. – Construction et architecture de terre en Europe : état de l'art au prisme d'apports scientifiques récents

AA.VV. (Espagne) 1986 : *NAVAPALOS 86, Il 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.

AA.VV. 2005 (Portugal) : *Arquitectura de Terra em Portugal / Earth Architecture in Portugal*. Ed. Argumentum, Lisbonne, 2005, 300 p.

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.

Asociação Dos Arquitectos Portugueses 1989 : *Arquitectura Popular Em Portugal*. Lisbonne. Portugal. 1989. 763 p.

Bertagnin 1999 : BERTAGNIN, M. – *Architetture 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.

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.

Correia 2000 : CORREIA, M. – *Le pisé d'Alentejo, Portugal*. Mémoire DPEA-Terre. EAGrenoble. France. 2000. 167 p.

Guillaud 1996 : GUILLAUD, Hubert – *Architectures de terre de France : repères de l'histoire, patrimoine traditionnel et modernité*, in revue *Mediterrâneo, Arquitectura de Terra*, n° 8/9 Semestral, *Revistas de Estudios Pluridisciplinares sobre as Sociedades Mediterrânicas*, Instituto Mediterrânico, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 309 p., 1997, pp. 193-236, 43 p.

Guillaud 1996 : GUILLAUD, Hubert – *Tradizione e innovazione ; Tradition et modernité des cultures constructives de l'architecture de terre : panorama mondial et enjeux actuels*, in *Séminaire Habitat e Architetture di terra ; le potenzialità delle tradizioni costruttive*, Università Degli Studi di Roma La Sapienza, Rome, octobre 1996, pp. 57-85, 28 p.

Guillaud 2004 : GUILLAUD, Hubert – *Architectures de terre en Europe ; histoire et patrimoine, modernité, actualité et prospective*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, Juin 2004, 50 p.

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.

6.4. – La technologie de construction en terre: matériaux, construction et architecture, écologie.

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.

- A.A.V.V. (U.S.A.)** : *Design Like You Give a Damn : architectural responses to humanitarian crisis*, ed. Architecture for Humanity et Métropolis Books, 2006, New York, U.S.A., 336 p.
- Anger et Fontaine 2005** : ANGER, R., FONTAINE, L. - *Grains de Bâisseurs – La matière en grains, de la géologie à l'architecture*, CRATerre Editions, Grenoble, France, 36p., ISBN 2-906901-40-7
- Anger 2005** : ANGER, R., - *Grains de Bâisseurs - La matière en grains, de la géologie à l'architecture*, mémoire de diplôme DPEA-Terre 2002-2004, éditions EAG, Grenoble, France, 253p.
- Gélard, D., Fontaine, L., Maximilien, S., Olagnon, C., Laurent, J.-P., Houben, H. & Van Damme, H. 2007, 'When physics revisits earth construction: recent advances in the understanding of the cohesion mechanisms of earthen materials', in B.V. Venkatarama Reddy & M. Mani eds. International Symposium on Earthen Structures (ISES-2007), Interline Publishing, Bangalore, India, ISBN 81-7296-051-4.
- Avrami 2004** : AVRAMI, Erica C. – *Cultural Heritage Conservation and Sustainable Building : Converging Agendas*, article publié dans la revue nord-américaine *Industrial Ecology*, décembre 2004, 14 p.
- 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.
- Correia, 2007** : CORREIA, M. – *Taipa no Alentejo*, éditions Argumentum, Lisbonne, Portugal, 2007, 176 p.
- CRATerre, Odul et al. 1986** : ODUL, Pascal, HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert (CRATerre) - *Identification et critères de sélection des terres*, in *Approche Scientifique et technique du matériau terre*, MRT, CSTB, CRATerre, Villefontaine, 1986.
- 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, Guillaud et al 1985** : GUILLAUD, Hubert (dir. et rédacteur), DOAT, Patrice, ROLLET, Pascal, HOUBEN, Hugo - *Pour une étude raisonnée des architectures en pisé : état du savoir-faire « pisé » français et étranger*, éditions AGRA-EAG, Grenoble, 1985, 388 p.
- CRATerre, Doat et al. 1986** : DOAT, Patrice, ESTEVE, Josep, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, JOFFROY, Thierry, ROLLET, Pascal, DAYRE, Michel (CRATerre-EAG) - *Toitures en terre. Tome 1. Arcs, voûtes et coupoles*, éd. REXCOOP, Paris, 1986, 247 pages.
- CRATerre-EAG, Guillaud 1986** : GUILLAUD, H. – *A l'Isle d'Abeau : le Domaine de la terre. Monographie de projet de l'Année internationale du Logement des sans-abri*, édition du Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Grenoble, septembre 1986, 8 p.
- CRATerre-EAG, Doat et al. 1987** : DOAT, Patrice, ESTEVE, Josep, GUILLAUD, Hubert, HOUBEN, Hugo, JOFFROY, Thierry, ROLLET, Pascal, DAYRE, Michel (CRATerre-EAG) - *Architecture de terre. Arcs, voûtes et coupoles*, MELATT/DAU/SRA, éd. CRATerre-EAG, Villefontaine/Grenoble, 1987, 194 p.
- CRATerre, Guillaud et al. 1987** : GUILLAUD, Hubert, DOAT, Patrice, ESTEVE, Josep, HOUBEN, Hugo, ROLLET, Pascal, VERNEY, Pierre-Eric – *Marrakech 87 Habitat en terre*, éd. CRATerre, Grenoble, 1987, 253 p.
- CRATerre Rigassi 1998** : RIGASSI (V) – *Cahier sur la normalisation de l'architecture de terre*, éditions CRATerre-EAG, Grenoble, 1998, 27 p.
- CRATerre-ENSAG, Doat et al. 2006** : DOAT, P. (dir.), HOUBEN, H., GUILLAUD, H., CARAZAS-AEDO, W., JOFFROY, Th., GARNIER, Ph., MOLES, O., GALER, T., TRAPPENIERS, M., BARDOS, S., RIVIERE, R., CHAUVIN, Ch., ALBERTO, G. – *Festival Grains d'Isère. Architecture, arts et sciences. Du grain à l'architecture de terre*, éditions CRATerre-ENSAG, Grenoble, avril 2006, 36 p.
- Duchaufour 1976** : DUCHAUFOUR, Philippe – *Atlas écologique des sols du monde*, éditions Masson, Paris, 1976.
- Easton 1982**: EASTON, David - *The rammed earth experience*, Wilseyville, Blue Mountain Press, 1982.
- Easton 1996 2007**: EASTON, David – *The Rammed Earth House*, Chelsea Green Publishing, 272 p.
- Fonseca 2007**: FONSECA, I. – *Arquitectura de Terra em Avis*, éditions Argumentum, Lisbonne, 2007, 143 p.
- Fontaine 2004** : FONTAINE, L., - *Etude de la cohésion et du comportement mécanique de la terre comme matériau de construction*, mémoire de diplôme DPEA-Terre 2002-2004, éditions EAG, Grenoble, France, 115p.
- Gauzin-Müller 2001** : GAUZIN-Müller, Dominique – *L'Architecture écologique*, Ed. Le Moniteur, Paris, octobre 2001.

Gélard et al 2005: GELARD, D., FONTAINE, L., MAXIMILIEN, S., OLAGNON, C., LAURENT, J.-P., HOUBEN, H. & VAN DAMME, H. 2005, 'Water and the cohesion of earthen materials. Towards an optimum water content for earthquake resistance', *Proceedings of SismoAdobe 2005, International seminar on architecture, construction and conservation of earthen buildings in seismic areas*, Marcial Blondet (ed.), CD, Lima, Pérou

Gélard et al. 2007 : GELARD, D., FONTAINE, L., ANGER, R., MAXIMILIEN, S., OLAGNON, C., LAURENT, J.-P., HOUBEN, H. VAN DAMME, H. 2007, 'Quand la physique revisite la construction en terre : avancées dans la compréhension des mécanismes de cohésion du matériau', *Les constructions en terre massive pisé et bauge, Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue. 2, Actes de la table-ronde de Villefontaine, Isère, 28-29 mai 2005*, sous la direction de Guillaud, H., De Chazelles, C.-A., & Klein, A., éditions de l'espérou, Montpellier, France, ISBN13 : 978-2-912261-35-9

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., LEB AHL, 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.

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 et al. 1995 : GUILLAUD, Hubert, ODUL, Pascal, JOFFROY, Thierry – *Blocs de terre comprimée ; conception et construction, Volume II*, éditions GATE/GTZ, Eschborn, 1993, 155 p

Guillaud & al. 1995: GUILLAUD, Hubert, JOFFROY, Thierry, ODUL, Pascal - *Earth Compressed Blocks, Vol II Design and Construction Manual*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) and Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1995, 148 p.

Guillaud 2001 : GUILLAUD, Hubert – *Construire en blocs découpés et mottes de gazon*, in Echanges transdisciplinaires sur les architectures et les constructions en terre crue, 1 – Terre modelée, découpée ou coffrée, matériaux et modes de mise en œuvre, Ecole d'Architecture de Languedoc-Roussillon à Montpellier, 17-18 novembre 2001, éditions de l'Espérou, 2003, 460 p., pp. 185-211, 26 p.

Guillaud 2005 : GUILLAUD, Hubert – *Cahier n° 16 : La Terre Crue ; Chap. 1 – Un art de bâtir universel et actuel ; chap. 2 – La matière, le matériau ; chap. 3 – L'amélioration par la stabilisation ; chap. 4 – les essais ; chap. 5 – Les qualités du matériau ; chap. 6 – Les normes et recommandations ;* in Encyclopédie du Bâtiment, remise à jour, éditions Weka, Paris, mars 2005, 58 p. Remise à jour et développement de cahiers publiés en 1990 dans l'Encyclopédie du Bâtiment, éditions Techniques-éditions Eyrolles.

Guillaud 2005 : GUILLAUD, Hubert - *Cahier n° 17 : Construire en terre; Chap. 1 – La construction et l'architecture de terre ; chap. 2 – Recommandations de conception architecturale ; chap. 3 – Actualité en France, en Europe et dans le monde ; chap. 4 – Bibliographie et adresses utiles ;* in Encyclopédie du Bâtiment, remise à jour, éditions Weka, Paris, juin 2005, - 68 p. Remise à jour et développement des cahiers encyclopédiques publiés en 1990 dans l'Encyclopédie du Bâtiment, éditions Techniques-éditions Eyrolles.

Guillaud et al. 2006 : GUILLAUD, Hubert - (Dir. Scient.), CARAZAS-AEDO, Wilfredo, DUPONT DE DINECHIN, Matthieu, GANDREAU, David, HAJMIRBABA, Majid, avec une contribution de WEBSTER, Frederick, *Earthquake resistant earthen architecture. Reference bibliography, recherche*, ed. CRATerre-EAG, Grenoble, novembre 2004, 85 p.

Houben et Verney 1987 : HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric – *Construction en terre crue ; les matériels français*, éditions CRATerre, Grenoble, 1987, 81 p. ;

Houben et Verney 1988 : HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric – *Blocs de terre comprimée : choix du matériel de production*, éditions du CDI, Bruxelles, 1988, 72 p.

Houben & Guillaud 1984 : HOUBEN, H., GUILLAUD, H. – *Earth Construction Primer*, UNCHS-Habitat, PGC-HS, CRA & AGCD, International Colloquium Earth building techniques for developing countries, vol. 8, Bruxelles, Belgique, 1984, 361 p.

Houben et Guillaud 1989 : HOUBEN, H., GUILLAUD, H. – *Traité de construction en terre*. Editions Parenthèses. Marseille. France. 1989. 355 p

Houben & al. 1989: HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric, MAINI, Serge – *Compressed Earth Blocks: Selection of Production Equipment*, Centre for the Development of Industry (CDI ACP EEC), Brussels, Belgium, January 1989, 61 p.

Houben & al. 1994: HOUBEN, Hugo, RIGASSI, Vincent, GARNIER, Philippe, and DOAT, Patrice, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, GUILLAUD, Hubert – *Compressed Earth Blocks. Production Equipment*, Guide, Series Technologies n°5, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EEC), Brussels, Belgium, 1994, 149 p.

Houben & Guillaud 1994: HOUBEN, H., GUILLAUD, H. – *Earth Construction. A comprehensive Guide*, Intermediate Technology Development Group Publications, Rugby, England, 1994, 362 p.

Houben & al. 1998: HOUBEN, Hugo (CRATerre) & BOUBEKEUR, Sid (CDI), RIGASSI, Vincent, D'ORNANO, Sébastien, GARNIER, Philippe, and DOAT, Patrice, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, GUILLAUD, Hubert – *Compressed Earth Blocks; standards*, Guide, Series Technologies n°11, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EU), Brussels, Belgium, 1998, 142 p.

Houben, Rigassi et al. 2000 : HOUBEN, Hugo, RIGASSI, Vincent, BOUBEKEUR, Sid – *Blocs de terre comprimée : procédures d'essais*, édition du CDE, Bruxelles, 2000, 121 p.

Hulot et al 2006 : HULOT, Nicolas et les membres du Comité de veille écologique – *Pour un pacte écologique*, éditions Calmann-lévy, Paris, 2006, 282 p.

Houben et al. 2007: HOUBEN, H., DOAT, P., FONTAINE, L., ANGER, R., CARAZAS-AEDO, W., OLAGNON, C, VAN DAMME, H. 2007, - *Innovative approaches in educational pedagogy for earthen architecture*, in B.V. Venkatarama Reddy & M. Mani eds. *International Symposium on Earthen Structures (ISES-2007)*, Interline Publishing, Bangalore, India, ISBN 81-7296-051-4

Joy et al 2002 : JOY, R., HOLL, S. , PALLASMAA, J. – *Rick Joy. Desert Works*. Ed. Princeton Architectural Press, New York, 2002, 176 p.

Kohler et Moffat 2003 : KOHLER, N., MOFFAT, S. – *Life cycle analysis of the built environment. Industry and environment 2003*. Vol. 26 N° 2-3, pp. 17-21. United Nations Environmental Programme. Division of Technology, Industry and Economics. Paris. France.

Lefèvre 2002 : LEFÈVRE, Pierre – *Architectures Durables. 50 réalisations environnementales en France et en Europe : Allemagne, Angleterre, Italie, Hollande*, éditions Edisud. Systèmes solaires, Cahors, 2002.

Le Tiec 2005 : LE TIEC, J.M. – *Habitat léger de loisirs*. T.p.f.e., Ecole d'Architecture de Grenoble, France, février 2005.

Le Tiec et Misse 2008 : LE TIEC, J.M., MISSE, A. – *Sans domicile fixe. Projet de structures d'hébergement transportable destinée à des publics fortement désocialisés et en grande errance sur l'agglomération grenobloise*, éditions CRATerre-ENSAG, Grenoble, février 2008.

McCann 1983 & 1995 : McCANN, John - *Clay and Cob Buildings*, éditions Shire Publications Ltd, Princes Risborough, 1983, réédité en 1995, 32 p.

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 et Schneider 1987: MIDDLETON, G.F., SCHNEIDER, L., M. - *Earth-wall construction. Bulletin n° 5. Fourth edition*. National Building Technology Centre. Chatswood. Sydney. Australie, 1987.

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.

Minke 1980: MINKE, Gernot - *Alternatives Bauen*, Gesamthochschul-Bibliothek, Kassel, RFA, 1980.

Minke 2000 : MINKE, G. - *Earth Construction Handbook* (trad. version originale allemande en 1994). Ed. WIT Press. 2000. Southampton. Ashurst. 2000.

Minke 2006: MINKE, Gernot – *Earth Construction Handbook*, WIT Press/Computational Mechanics Publications

Minke 2006: MINKE, Gernot – *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser, Basel, Switzerland, 2006, 200 p.

Odul, Guillaud et al. 1986 : ODUL, Pascal, GUILLAUD, Hubert, DOAT, Patrice, HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric. - *Approche scientifique et technique du matériau terre. Dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre*. Ministère de la Recherche et de la Technologie/CSTB, Paris, France, 1986, 304 p.

Oliva et al 2004 : OLIVA, J.P., BOSSE-PLATIERE, A., AUBERT, C. – *Maisons écologiques d'aujourd'hui*. Ed. Terre Vivante, Mens, France, 144 p.

Onrubia et al 2003: ONRUBIA, J., MALDONADO, R., VELA COSSIO, F. – *Diccionario de construcción tradicional tierra*, editorial Nerea, San Sebastián, Espagne, 2003, 221 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.
- 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.
- Rigassi 1995:** RIGASSI, Vincent – *Earth Compressed Blocks, Vol I Production Manual*, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) and Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1995, 104 p.
- Rigassi et al. 2000:** RIGASSI, Vincent & HOUBEN, Hugo (CRATerre), BOUBEKEUR, Sid (CDI), MESBAH, Ali & MOREL, Jean-Claude (ENTPE) – *Compressed Earth Blocks ; testing procedures*, Series Technologies n°16, Centre for the Development of Industry (CDI ACP - EU), Brussels, Belgium, 2000, 121 p.
- Sanna 1993 :** SANNA, A. (a cura di) – *Architettura in terra, tipologia, tecnologia, progetto*. Ed. CUEC. Cagliari. Italie. 1993. 175 p.
- Schmid 1985 :** SCHMID, P. – *Climate-Habitat-Culture*. Report on the International Seminar at Eindhoven. University of Technology. Eindhoven. Pays-Bas. 1985.
- Shin 2007:** SHIN, G.S. – *Architerre; expérimentation et cultures constructives*, mémoire de P.f.e., Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, juin 2007, 64 p.
- Snell et Callahan 2006:** SNELL, C., CALLAHAN, Tim – *Manuel de construction écologique*, éditions La plage, Paris, 2006, 360 p.
- Van Damme et al 2007 :** VAN DAMME, H., HOUBEN, H., ANGER, R. FONTAINE, L., - *Matériaux de construction et développement durable*, in *Graines de sciences Volume 8*, sous la direction de Wilgenbus, D. & Pol, D., collection La main à la pâte, Editions le Pommier, Paris, France, 186p., ISBN 978-2-74-650337-3
- Volhard 1983 :** VOLHARD, F. - *Leichtlembau, alter Baustoffneue Technik*. Ed. Verlag C.F. Müller. Karlsruhe. Allemagne. 1983.
- Welsch 1968 :** WELSCH, R.L. – *Sod walls. The story of the Nebraska Sod House*, ed. Purcells Inc., Broken Bow, Nebraska, Etats-Unis, 1968.
- Wilke 2005:** Wilke, Ch. – *Une approche de l'habitat économique*. mémoire de P.f.e. Master Architecture et cultures constructives, Ecole d'Architecture de Grenoble, France, juillet 2005. 176 p.
- Wilke 2008 :** WILKE, Ch. – *Habitat économique en Charente Maritime; architecture de terre et développement durable*, mémoire de DSA-Terre, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, septembre 2008. 68 p.

6.5. - Conservation des architectures de terre

- AA.VV. Joffroy et al. 2006 :** JOFFROY, Th (dir.), GANDREAU, D., MOLES, O., MORISET, S., et nombreux autres contributeurs - *Patrimoine culturel & développement local ; guide à l'attention des collectivités locales africaines*, éditions CRATerre-ENSAG / Convention France-UNESCO, Grenoble, 2006, 108 p.
- 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, N. - *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.
- Aleman Andrade 1990 :** ALEMANE ANDRADE, R.M., (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.
- 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.
- Avrami Guillaud Hardy 2008 :** AVRAMI, A., GUILLAUD, H., HARDY, M. comme éditeurs, et VELDE, B., CANCINO, Cl. N., RAINER, L., RIDOUT, B.V., WEBSTER, F.A., OLIVER, A. – *Terra Literature*

- Review. An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation*, éditions du Getty Conservation Institute, Los Angeles, Etats-Unis, 2008, 159 p.
- Baldussi 1994** : BALDUSSI, A. - *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, M. - *Recherche pour la préservation des architectures de terre. Le site archéologique de Mari (Syrie)*. EAG. Grenoble. France, 1993.
- Bendakir 2000** : BENDAKIR, M. - *Problèmes de la préservation des architectures en briques de terre crue. Etude de cas : le site archéologique de Mari (Syrie)*. Thèse de doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, 2000.
- 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.
- Cancino 2003**: CANCINO, CI.N. - *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.
- Castellanos Avila 1995**: CASTELLANOS AVILA, C. - *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.
- Chiari 1990**: CHIARI, G. - *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, N. - *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.
- CRATerre-EAG, ICCROM, Alva et al. 1990**: ALVA, A., DOAT, P., GUILLAUD, H., HOUBEN, H., JOFFROY, Th., ODUL, P., TEUTONICO, J.-M., TRAPPENIERS, M. - *CRATerre-EAG/ICCROM Long Term-Plan for the préservation of the earthen architectural heritage : the GAIA Project*, in "6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture", Getty Conservation Institute, Marina del Reys, New Mexico, USA, octobre 1990.
- Crocker 1993**: CROCKER, E. - *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, E. - *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, E., 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, E. - *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, E., 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, A. - *Patología húmeda 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, L. - *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, M. et KENMOGNE, E. - *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, Cl.-A., POUPET, P. - *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, T. 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, P., GUILLAUD, H., HOUBEN, H., LARAKI, M., KERGREIS, M., HMAMI, J., BOULALI, M., KABBAJ, A., LATIFI, A. - *Marrakech 83. Habitat en terre. Aide à la conception architecturale.* Rexcoop, Erac-Tensift. Paris. France.
- Doat et al. 1990 :** DOAT, P., GUILLAUD, H., HOUBEN, H., JOFFROY, Th., MAINI, S., ODUL, P., ROLLET, P. et VITOUX, F. - *Erosion des murs en terre,* Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Secrétariat de la Recherche Architecturale, Ministère de l'Équipement, du Logement et de la Mer, Editions CRATerre-EAG, Grenoble, 1990, 104 p.
- Dowdy et Taylor 1993 :** DOWDY, K., TAYLOR, M.R. - *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 arquitectura 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, B. et JOKILETHO, J. - *Management guidelines for world cultural heritage.* ICCROM ; UNESCO ; ICOMOS. Rome / Paris. France, 1993.
- Gandreau 2005 :** GANDREAU, D. - *Vestiges archéologiques en terre et projets de conservation,* mémoire de DSA-Terre 2000-2002, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, 94 p., pp. 76-77.
- Garralón Jorba 1991 :** GARRALÓN 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, M. - *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 conversacion de monumentos. Madrid, 24 y 25 de abril de 1989*. p. 143-148. Instituto de conservación y restauración de bienes culturales. Madrid, Espagne, 1991.
- Guerrero et al. 2007:** GUERRERO, L. (dir.), NEVES, C., JARAMILLO, J.V., DIAZ, J.L., FLORES, S.C., SUAREZ, A.S., RAMIREZ, A.R., GLANTZ, R.S., QUINTANA, L.M., SORIA LOPEZ, F.J., AZVEDO SALOMAO, E.M., LIMONES, C.M., GONZALES, E.H., ROUX GUTIEREZ, E.H., ESPUNA MUJICA J.A. - *Patrimonio construido con tierra*, editorial Universidad Autonoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Mexique, 2007, 166 p.
- Guillaud 1993 :** GUILLAUD, H. - 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 1993, actes publiés en avril 1994, 888 p., pp. 33-69.
- Guillaud 1986 :** GUILLAUD, H. - *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 1997 :** GUILLAUD, H. - *La conservation du patrimoine architectural en terre : histoire et théorie de la conservation*, éditions CRATerre, Grenoble, 1997, 60 p.
- Guillaud 2001 :** GUILLAUD, H. - *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.
- Guillaud 2003 :** GUILLAUD, H. - *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-Rāfidān*, volume XXIV, 102 p., éd. The Institute for Cultural Studies of Ancient Iraq, Kokushikan University, Tokyo et Letterpress Co. Ltd, Hiroshima, Japon, 1003, pp. 41-70 et 12 planches, 41 p.
- Guillaud et Avrami 2003 :** GUILLAUD, H., AVRAMI, E. - *Research in Earthen Architecture Conservation : A Literature Review*, in Actes de la 9th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, Terra 2003, Yazd, Iran, 29 November - 2 December 2003, ed. Iranian Cultural Heritage Organization, Téhéran, novembre 2003, 666 p., pp. 201-220.
- Guillaud 2006 :** GUILLAUD, H. - *Les centres villes en terre, en Europe et ailleurs dans le monde, sont en grand danger, in Houses and cities built with earth*, éditions Argumentum, Lisbonne, 2006, 160 p., pp. 142-150.
- Guinea 1991 :** GUINEA, M.J. - *Consolidación, mejora y nuevas técnicas de construcción con tierra*. In: *Jornadas sobre restauracion y conversacion 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, R. - *Acrylic-modified earthen mortar*. Professional paper n° 61. Intermountain Cultural Resource Center. Santa Fe. U.S.A., 1996.
- Hartzler 1997:** HARTZEL, R. - *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, B. - *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, H. - *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, H., GUILLAUD, H. - *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, A.M., 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, A.M. - *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, R. - *Material and structural behaviour of soil constructed walls*. In: *Monumentum N° 3. Techniques and materials*. Londres, Royaume-Uni, 1983.

Hughes 1985 : HUGHES, R. - *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, R. - *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, R. - *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, R. - *British Land Pic. Plantation Place. Method Statement for Archaeologically Excavating Documenting and Analysing Buried Soil Walls*. Londres, Royaume-Uni, 2000.

Hughes 2001: HUGHES, R. - *Structural and hydrological engineering*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 21 p., 2001.

Jeannet et al. 1986 : JEANNET, J., POLLET, G., SCARATO, P. - *Le pisé. Patrimoine, restauration, technique d'avenir*. Editions CREER. Nonette. France, 1986.

Jerome 1991 : JEROME, P. S. - *Analysis and conservation of mudbrick construction in Bronze Age Crete*. Graduate School of Architecture, Planning and Preservation. Bogota. Colombie, 1991.

Joffroy 1992 : JOFFROY, Th. - *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, Th. - *Mission to the Gambia, 6-16 may 1996*. UNESCO, World Heritage Centre. Paris. France, 1996.

Joffroy 1997 : JOFFROY, Th. - *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, Th., MORISET, S. - *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, Th., MORISET, S. - *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, Th., MORISET, S. - *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, Th., ODUL, P. - *Expertise de la maison en pisé de Mme Rajon à Coublevie*. In: *Rapport expertise*. CRATerre-EAG. Grenoble. France.

Joffroy et al. 1997: JOFFROY, Th., 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.

- Joffroy et al. 2005** : JOFFROY, Th. (editor) – *Traditional conservation practices in Africa*, ICCROM / Africa 2009, 2005, 104 p.
- 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**: KOUBE, 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, F., A., CROSBY, A., KIMBRO, 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, F., A., THIEL, C.E., KIMBRO, Edna, E., GINELL, W.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, J.-C. - *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 arquitetura 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, F.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, F.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.
- Mazar 1999**: MAZAR, A. - *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.
- Mesbah et Olivier 1990** : MESBAH, A., OLIVIER, M. - *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.
- Morales Gamarra 1994**: MORALES GAMARRA, R. - *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 arquitetura 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 et al 1986** : ODUL, P. et GUILLAUD, H. (Direction Scientifique), DOAT, P., HOUBEN, H., VERNEY, P.-E. - *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.

- Odul 1990** : ODUL, P. - *Etude de pathologie réalisée à la demande de Fernand Fédèle*. Rapport d'expertise. EAG, CRATerre. Grenoble. France, 1990.
- Odul 1990** : ODUL, P. - *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.
- Odul 1990**: ODUL, P. - *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.
- Oliver 2002**: OLIVER, A., 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, A. - *Conservation interventions for earthen archaeological sites*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 19 p., 2002.
- Oliver 2002**: OLIVER, A. - *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, G.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, G.T. - *Conservation of clay & chalk buildings*. Donhead. London. Royaume-Uni, 1992.
- Peroni et al. 1994** : PERONI, S., TERSIGNI, C., TORRACA, G. - *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, F., RAINER, L. - *Conservation of the bas-reliefs from the salle des bijoux at the musée historique, palais royaux d'Abomey*. The Getty Conservation Institutue. Los Angeles. U.S.A., 1996.
- Piqué et Rainer 1997**: PIQUÉ, F., RAINER, L. - *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.
- Rainer 2002**: RAINER, L. - *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, L. - *Water, wind, salt, biological, Environmental, deterioration / pathology*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 20 p., 2003
- Ramirez 1992** : RAMIREZ, B. - *La pathologie des anciennes constructions en terre. Diagnostic. Méthode d'observation*. EAG. Grenoble. France, 1992.
- Ridout 2002**: RIDOUT, B.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, P. - *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 Montaña store*. In: *APT bulletin*. p. 37-41. APT. Fredericksburg. U.S.A., 1995.
- Selwitz et al. 1990** : SELWITZ, C. , COFFMAN, R., AGNEW, N. - *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, C.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, C.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 arqueológicos 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, N., 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, A. - *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, S. - *Heritage Management Training Project. Course Manual*. Edited for publication by Leora Kirwan and Peter Judge. Commonwealth of Australia. Australie, 1996.
- Sullivan 1997** : SULLIVAN, S. - *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.
- 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.
- Taylor 1987** : TAYLOR, M.R. - *An overview and assessment of cappings used for protecting exposed adobe walls*. Architectural Conservation Course. Rome. Italie, 1987.
- Taylor 1987** : TAYLOR, M.R. - *Fort Selden test wall project. Second annual status report*. Museum of New Mexico. New Mexico. U.S.A., 1987.
- Taylor 1990** : TAYLOR, M.R. - *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, J.-M. - *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, J.-M. - *A laboratory manual for Architectural Conservation..* ICCROM. Rome. Italie, 1988.
- Teutonico et al. 1994**: TEUTONICO, J.-M., McCAIG, I., BURNS, C., ASHURST, J. - *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, G. - *Porous building materials. Materials science for architectural conservation*. ICCROM. Rome. Italie, 1988.
- Torrealva Davila 1995** : TORREALVA DAVILA, D. - *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, F.C. - *Adobe architecture conservation handbook*. Cornerstones Community Partnerships. Santa Fe. U.S.A., 1998 (réédité en 2006).
- Van Balen 1990** : VAN BALEN, K. - *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, J., 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, J. - *Earthquake resistant rammed-earth (tapial) buildings*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura 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, J. - *Seismic retrofitting of historic adobes*. In: *7a conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura 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, B. - *Clay minerals and Earthen Materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 24 p., 2003.
- Velde 2003**: VELDE, B. - *Geology of clays and earthen materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 24 p., 2003.
- Velde 2003**: VELDE, B. - *Compaction of soils and fine grains earthen materials*. Project TERRA Literature Review, ed. GCI, Los Angeles, U.S.A., 8 p., plates.

6.6. – Normes et standards, recommandations :

INTERNATIONAL

- **RILEM 1995** : OLIVIER, M., EL GHARBI, Z, MESBAH, A.- *Proposition d'une norme pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimés. RILEM TC 153 - CIB 90. La technologie du bloc de terre comprimée. Document provisoire*, 11ème séminaire international de la recherche sur les matériaux locaux - 49ème conseil général de la RILEM, Marrakech 26-29 septembre 1995, Comité scientifique RILEM TC 153 - CIB W90 CEB "Technologie du bloc de terre comprimée", Paris, France, Septembre, 1995,
- **RILEM-CIB 1996** : - *Normes internationales. Blocs de Terre Comprimée : essais d'identification des matériaux et essais mécaniques. Méthodes de vérification de terrain. Document provisoire*, Comité CIB W 90 "Technologie du Bloc de Terre Comprimée", Comité CIB W 90 "Technologie du Bloc de Terre Comprimée", Villefontaine, France, Avril, 1996,
- **ODA 1994**: KBP Architects : KEABLE, J., NORTON, J., SPENCE, R., TIPPLE, G. - *Rammed earth structures : a code of practice*, ODA (Overseas Development Administration), s.l., Royaume-Uni, 1994,

- **Keable 1996:** KEABLE, J., - *Rammed earth structures : a code of practice*, IT Publications, Londres, Royaume-Uni, 1996, 1 85339 350 9

AFRIQUE

- **Boubekeur, Houben et al. 1997 :** CDI : BOUBEKEUR, S. ; CRATerre : HOUBEN, H., CRATerre-EAG - *Compressed earth blocks : standards*, Bruxelles / Villefontaine, Belgique / France, 1997, 2-906901-19-9

ALGÉRIE

- **CNERIB 1988 :** *Béton de terre stabilisée*, ed. CNERIB, Alger, Algérie, 1988,
- **CNERIB 1988 :** *Guide technique du BTS.*, CNERIB., *Béton de terre stabilisée.*, CNERIB, Alger, Algérie, 1988,
- **CNERIB 1988 :** *Notice pour l'utilisation de la presse BTS.*, CNERIB., *Béton de terre stabilisée.*, CNERIB, Alger, Algérie, 1988,
- **CNERIB 1988 :** *Recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée*, CNERIB, *Béton de terre stabilisée*, CNERIB, Alger, Algérie, 1988,
- **CNERIB, ENTPE et CRATerre 1992 :** *Projet HAB 24 - Filière BTS. Manuel des modes opératoires d'essais pour la terre*, CNERIB : RILI, K., BOUSRI, M. ; ENTPE : MESBAH, A., OLIVIER, M. ; CRATerre : ODUL, P., HOUBEN, H., Wilaya de Tipaza / Grenoble, Algérie / France, 1992,
- **CRATerre et CNERIB, 1992 :** *Projet HAB 24 - Filière BTS. Recueil de projets de normes pour les blocs de terre stabilisée*, CRATerre : HOUBEN, H. ; CNERIB : RILI, K., ed. CRATerre-EAG, CNERIB, Villefontaine / Wilaya de Tipaza, France / Algérie, 1992,

BURKINA FASO

- **CRATerre et LOCOMAT 1996 :** CRATerre-EAG : RIGASSI, V. ; LOCOMAT : YAMBA, T. ; SBF : BAYOULOU, E. - *Blocs de terre comprimée et blocs de terre extrudée. Projet de norme Burkina Faso, NBF. Texte provisoire*, CRATerre-EAG, Grenoble, France, Juillet, 1996,

CÔTE D'IVOIRE

- **LBTP 1980 :** SIMONNET, J., LIAUTAUD, G., BAMBA, B. - *Recommandation pour la conception et l'exécution de bâtiments économiques en géobéton*, LBTP, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 1980,
- **CODINORM 1993 :** - *Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment "Géobéton". Projet de norme ivoirienne PNI 05 11 001*, CODINORM, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 1993,
- **CODINORM 1994 :** - 6270, *Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment "Géobéton". Définitions et spécifications. NI 05.11.001*, Abidjan, Côte d'Ivoire, Septembre, 1994,

TCHAD

- **CMC 1988 :** D'ORNANO, S. - *Eléments pour un cahier des charges pour la manufacture de blocs de terre comprimés stabilisés au Tchad.*, DP-CHD-83-007, CMC, N'Djaména, Tchad, 1988,
- **CMC 1989 :** - D'ORNANO, S. *Eléments pour un cahier des charges pour la manufacture de blocs de terre comprimée stabilisée au Tchad*, DP-CHD-83-007, CMC (Centre de Matériaux de Construction), N'Djaména, Tchad, 1989,
- **CMC 1989 :** - D'ORNANO, S. *Prescriptions et recommandations techniques pour la manufacture de blocs de terre comprimée stabilisée au Tchad*, DP-CHD-83-007., CMC, N'Djaména, Tchad, 1989,

GHANA

- **Ghana Standard Board, Hammon 1990:** HAMMON, A.A. - *Ghana building code. Section V : materials and construction.*, ", s.n, s.l, s.l, ", *Draft Ghana standard specification for compressed earth blocks used in general building construction*, Ghana Standards Board, Kumasi, Ghana, 1990,

KENYA

- **Owino Okwero 1989:** - OWINO OKWERO J.E. - Draft specification for use of soil blocks, Workshop on Kenya standard specification on soil blocks. Nairobi, Kenya, 26th to 31st May 1989., s.n, Nairobi, Kenya, 1989,
- **BRE, WEBB 1989:** WEBB D.J.T. - *Draft specification for stabilised soil building blocks*, Workshop on Kenya standard specification on soil blocks. Nairobi, Kenya, 26th to 31st May 1989., BRE, Watford, Royaume-Uni, 1989,
- **Kenya Bureau of Standards 1992:** - *Kenya standard specification for stabilised soil blocks*, Kenya Bureau of Standards, Nairobi, Kenya, 1992,

MALI

- **Guillaud et Houben 1985 :** GUILLAUD, H., HOUBEN, H. - *Cahier des spécifications techniques concernant la production des matériaux de construction en terre. Bâtiments d'hébergement des élèves.*, ESITEX, Paris, France, Août, 1985,
- **CEBTP, Mariotti 1989 :** MARIOTTI, M. - *Recommandations et spécifications pour la production et la mise en œuvre de blocs de béton de terre stabilisée*, Rapport VI. p. 85-94, CEBTP, Paris, France, 1989,

MAROC

- **DCTC 1985 :** - *Construction de 50 logements en blocs de terre compressée par province.*, Recueil de recommandations constructives., Ministère de l'Habitat, DCTC, Rabat, Maroc, 1985,
- **DCTC 1986 :** - *Cahier des prescriptions techniques "terre" : fabrication et mise en oeuvre de blocs hypercompressés.*, Ministère de l'Habitat, DCTC, Rabat, Maroc, 1986,
- **DCTC 1986 :** - *Mise en oeuvre des blocs en terre compressée*, Ministère de l'Habitat, DCTC, Rabat, Maroc, 1986,
- **DCTC 1987 :** - *Guide d'autocontrôle de fabrication des blocs de terre comprimée*, Ministère de l'Habitat, DCTC, Rabat, Maroc, 1987,
- **Ministère de l'Habitat 1990 :** - *C.P. TERRE. Cahier de prescriptions techniques pour la construction en blocs de terre compressée*, Direction des Affaires Techniques., Royaume du Maroc, Ministère de l'Habitat, Secrétariat Général., Marrakech, Maroc, 1990,

AFRIQUE DU SUD

- **Agreement Boart of South Africa 1990:** - *Hypercompressed Teroc brick walling system.* MANTAG 1990/M27, Agreement Board of South Africa, Pretoria, Afrique du Sud, 1990,
- **Agreement Boart of South Africa 1990:** - *Agreement certificate. n° 96/237. Hydraform building system (draft)*, Hydraform Developments, Sunward Park, Afrique du Sud, 1996,
- **Agreement Boart of South Africa 1990:** - *Agreement certificate. n° 96/237. Hydraform building system*, Agreement South Africa, Pretoria, Afrique du Sud, 1996,

ZIMBABWE

- **Rhodesia Government 1977:** - *General requirements for soil-cement units*, Rhodesia Government, Model building by-laws p. 15, Rhodesia Government, s.l., Rhodésie, 1977,

EUROPE

ALLEMAGNE

- Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951,
- Lehm. Baulehm. Begriffe. Arten. DIN 18952. Blatt 1, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Lehm als Baustoff. DIN 18952, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951,
- Lehm. Baulehm. Lehmbauteile. Verwendung von Baulehm. DIN 18953. Blatt 1, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,

- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Gemauerte Lehmwände. DIN 18953. Blatt 2, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Gestampfte Lehmwände. DIN 18953. Blatt 3, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Gewellte Lehmwände. DIN 18953. Blatt 4, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Leichtlehmwände in gerippebauten . DIN 18953. Blatt 5, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Vorschriften für die Ausführung. DIN 18951. Blatt 1, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951,
- Lehm. Vorschriften für die Ausführung. Erläuterungen. DIN 18951. Blatt 2, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951,
- Lehm. Baulehm. Prüfung von Baulehm. DIN 18952. Blatt 2, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Lehmfußböden. DIN 18953. Blatt 6, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Eigenschaften, Bauarten, Anwendungsbereich. DIN 18953, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1951,
- Lehm. Ausführung von Lehm. Richtlinien. DIN 18954, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Baulehm. Lehmteile. Feuchtigkeitsschutz. DIN 18955, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Putz auf Lehmteilen. DIN 18956, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Lehmschindeldach. DIN 18957, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1956,
- Lehm. Mörtel für Mauerwerk und Putz. DIN 1169, DIN, Lehm. DIN 18951-18957 & 1169, DIN, Berlin, Allemagne, 1947,
- Lehm. Regeln. Ein projekt des Dachverbandes Lehm, Entwurf 10/97, Volhard F., Röhlen U., Dachverband Lehm, Weimar, Allemagne, Octobre, 1997,

FRANCE

- Constructions en béton de terre., REEF. DTC n°2101., CSTB, Paris, France, 1945,
- Béton de terre stabilisé aux liants hydrauliques, REEF. DTC n°2102., CSTB, Paris, France, 1945,
- Béton de terre et béton de terre stabilisé, REEF. DTC n° 2001., CSTB, Paris, France, 1945,
- Recommandations pour la conception des bâtiments du quartier en terre de l'Isle d'Abeau, CRATERre : BELMAN, D., DAYRE, M., DOAT, P., GUILLAUD H., HOUBEN, H. ; Groupe pisé : BALAS, G., BARTHOUX, L., BOURGOIN, J., BUET, G., DECOUSUS, P., ESCLATINE, D., LANDRY, P., MEGARD, Ch. ; PENICAUD, H., ed. CRATERre. Groupe pisé. Penicaud H., AGRA, Plan Construction, Grenoble France, 1982,

RÉPUBLIQUE HELVÉTIQUE (SUISSE)

- Regeln zum Bauen mit Lehm. Dokumentation D 0111, SIA (Schweizerischer Ingenieur - und Architekten - Verein), Zürich, Suisse, 1994,

AMÉRIQUE DU NORD

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

- Instructions and specifications for the making of soil-cement building blocks., McNown W.C., University of Kansas, Kansas, Etats-Unis, 1945,
- Uniform building code standards., International Conference of Building Officials, Whittier, Etats-Unis, 1973,
- Uniform building code. Volume 1., International Conference of Building Officials, Whittier, Etats-Unis, 1973,

- 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, Tibbets J.M., Southwest Solaradobe School, Bosque, Etats-Unis, 1994,

AMERIQUE DU SUD

- **CYTED 1995** : - *Recomendaciones para la elaboracion de normas tecnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*, Red Habitterra-CYTED, La Paz, Bolivia, Août, 1995,

BRÉSIL

- Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação. NBR 8491, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), São Paulo, Brésil, Avril, 1984,
- Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistencia à compressão e da absorção d'agua. Método de ensaio. NBR 8492, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), São Paulo, Brésil, Avril, 1984,
- Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento. NBR 10832, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), São Paulo, Brésil, Novembre, 1989,
- Fabricação de tijolo maciço de bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica. Procedimento. NBR 10833, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), São Paulo, Brésil, Novembre, 1989,

CUBA

- Metodologia para la mezcla de dos suelos para producir suelo-cemento. Instrucción técnica IT-04-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Metodologia para el diseño de mezclas de suelo-cemento para conformar elementos - en maquinas. Instrucción técnica IT-05-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Diseño des mezclas de suelo-cemento para construir en el lugar de la obra. Instrucción técnica IT-06-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Ladrillos macizos de suelo cemento. Instrucción técnica IT-07-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Bloques huecos de suelo-cemento. Instrucción técnica IT-08-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Bloques machimbrados de suelo cemento (machimbloques). Instrucción técnica IT-09-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Bovedillas de suelo-cemento. Instrucción técnica IT-10-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Control de la calidad en las construcciones de suelo cemento. Instrucción técnica IT-11-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONS, MINAZ,

MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONs, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,

- Cimentaciones de suelo cemento para edificaciones. Instrucción técnica IT-12-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONs, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONs, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,
- Construcción de muros mampuestos de suelo cemento. Instrucción técnica IT-16-91, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONs, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Comision para el Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados : INV, MICONs, MINAZ, MINAGRI, CECAT, IPF, Ciudad Habana, Cuba, 1991,

MEXIQUE

- Normas de diseño para construcciones a base de adobe estabilizado "Tabicote", Hernández Basilio O., Vivienda Pueblo, México, Mexique, Novembre, 1984,

PÉROU

- Recomendaciones técnicas para la reparación en edificaciones de adobe y quincha dañadas por movimientos sísmicos, Dirección General de Edificaciones del Ministerio de Vivienda, Oficina de Relaciones Públicas, Lima, Pérou, 1974,
- Normas de diseño sísmo resistente construcciones de adobe y bloque estabilizado, Capitulo. n° 6. p. 4-7, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima, Pérou, 1977,
- Construcciones de adobe. Disposiciones especiales para diseño sísmo-resistente., ININVI., "", ININVI, Lima, Pérou, 1987,

ORIENT - AUSTRALASIE

ARABIE SAOUDITE

- Former city walls and gates. Interpretation and representation project. Volume 3. Specifications., Kingdom of Saudi Arabia, Riyadh, Arabie Saoudite, 1986,

AUSTRALIE

- Earth-wall construction. Bulletin n° 5. Fourth edition, Middleton G.F., Schneider L.M., National Building Technology Centre, Chatswood, Australie, 1987,
- Western Australia BCA appendix. Amendment n° 7, s.n., s.l., Australie, Juillet, 1990,

INDE

- Indian standard. Specification for soil based blocks used in general building construction. First revision, Indian Standards Institution, IS : 1725 - 1982, Indian Standards Institution, New Delhi, Inde, 1982,
- Indian standard. Improving earthquake resistance of earthen buildings - Guidelines. IS 13827 : 1993. UDC 699-841 (026) : 728-61, Bureau of Indian Standards, Bureau of Indian Standards, New Delhi, Inde, Octobre, 1993,

NOUVELLE ZÉLANDE

- Engineering design of earth buildings. DZ 4297. Draft standard, Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, New Zealand standard. DZ 4297 Engineering design of earth buildings. DZ 4298 Materials and workmanship for earth buildings. DZ 4299 Earth buildings not requiring specific design. Draft for comment. Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, Wellington, Nouvelle Zélande, Juillet, 1997,
- Materials and workmanship for earth buildings. DZ 4298. Draft standard, Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, New Zealand standard. DZ 4297 Engineering design of earth buildings. DZ 4298 Materials and workmanship for earth buildings. DZ 4299 Earth buildings not

requiring specific design. Draft for comment. Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, Wellington, Nouvelle Zélande, Août, 1997,

- Earth buildings not requiring specific design. DZ 4299. Draft standard, Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, New zealand standard. DZ 4297 Engineering design of earth buildings. DZ 4298 Materials and workmanship for earth buildings. DZ 4299 Earth buildings not requiring specific design. Draft for comment. Standards New Zealand, Committee BD/83, Earth Building, Wellington, Nouvelle Zélande, Juillet, 1997.

