



HAL
open science

Terra Lyon 2016: proceedings, online version

Joffroy Thierry, Guillaud Hubert, Chamsia Sadozaï

► **To cite this version:**

Joffroy Thierry, Guillaud Hubert, Chamsia Sadozaï. Terra Lyon 2016: proceedings, online version. TERRA Lyon 2016, CRAterre, 2018, 979-10-96446-12-4. hal-04634352

HAL Id: hal-04634352

<https://hal.science/hal-04634352>

Submitted on 12 Jul 2024

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.



Constructions en terre dans le système d'information du patrimoine

Zuzana SYROVÁ, Jiří SYROVÝ

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÍ, Chamsia (dir.) 2018, Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

Le traitement des informations et de la documentation a changé avec utilisation des bases de données et avec les possibilités de leur édition et publication sur Internet. Mais jusqu'à récemment, il y avait un gros désavantage des systèmes d'informations partiels. C'est pourquoi l'Institut du patrimoine tchèque développe depuis 2007 le Système d'information intégré (IISPP), qui sera finalement complété en 2015 par le module de Catalogue, qui permettra la gestion complexe de l'inventaire. Cet article est écrit au moment de la finition des dernières modifications de l'IISPP liées à ce module. Actuellement avant la mise en exploitation du Catalogue nous ne sommes pas encore en mesure d'illustrer pleinement tous les fonctionnalités nouvelles de l'IISPP, comme la plupart des modules existants subit aussi les adaptations nécessaires. Cependant les principes de base appliqués déjà dans l'IISPP restent les mêmes.

L'IISPP recense le patrimoine dans toute sa diversité y compris sa partie en terre. Ces bases de données documentaires forment un ensemble cohérent basé sur identification spatiale des éléments. Le système est ouvert à la contribution d'autres organismes, qu'ils soient grands comme l'Académie des Sciences ou petites ONG comme SOVAMM.

INTRODUCTION

Le patrimoine bâti en terre de la République tchèque présente une richesse des techniques et des typologies. Commun à plusieurs disciplines, il est étudié plus de 120 ans. Les premiers des travaux d'inventaire et de documentation portant sur le patrimoine en terre sont liées avec les enquêtes préparatoires de l'Exposition Ethnographique Tchéco-Slave de Prague 1895. La méthodologie actuelle de ces travaux s'appuie sur celle du bureau pour la reconstruction des monuments et villes historiques (SÚRPMO) des années 60, approfondie par l'Institut pour la protection des monuments historiques (SÚPP) et par l'Association pour le renouveau du village et de la petite ville (SOVAMM). Les principes de cette méthodologie restent pratiquement inchangés comme ils ont été décrit dans les années 90 (Syrová et Syrový 1995). Si les premiers bases de données ont apporté beaucoup de changement, peut-être encore plus a changé avec les possibilités de leur édition et publication sur l'Internet. Cependant jusqu'à récemment, il y avait un gros désavantage des systèmes d'informations partiels. Les inconvénients de cette fragmentation ont mené à la mise en oeuvre du Système d'information intégré du patrimoine IISPP, développé par l'Institut national du patrimoine tchèque (NPÚ) depuis 2007 (Volfík 2010). En parallèle les efforts de coopération inter-institutionnelle sont développés surtout par les Archives nationales et la Bibliothèque nationale. Le but commun est de recenser le patrimoine dans toute sa diversité.

1. LES PREDECESSEURS DE L'IISPP

Le Système d'information intégré a eu plusieurs prédécesseurs conçus pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter les données du patrimoine en général y compris celui en terre (Syrová et Eismann 2013). L'identification des structures en terre historiques y est dans la plupart du temps confinés à des sous-attributs, mots-clés ou des métadonnées en général. Exceptionnellement il s'agit des systèmes comprenant la classification appropriée des termes des constructions en terre. Parmi les systèmes présentés ici les systèmes d'information géographique (SIG) méritent une attention particulière grâce à leur capacité de traitement du contexte spatial des données. Cependant ces premiers projets ont été limité par les logiciels disponible à l'époque. Ceci a eu pour conséquence aussi une gestion compliquée des fichiers.

1.1. Les systèmes d'information du patrimoine vernaculaire de SOVAMM

SOVAMM a commencée expérimenter le SIG pour le traitement des bases de données d'inventaire et de documentation et les travaux d'analyse et de synthèse au début des années 1990. A part du projet de base à long terme de l'Atlas de l'architecture vernaculaire; les projets-pilot du SIG de l'inventaire du Parc National de Dyje (Thayatal) et de la région de Litomyšl et Vysoké Mýto ont permis de concevoir la structure des données appropriée pour des enquêtes de différentes échelles à partir de l'ensemble du pays jusqu'au détails des éléments des bâtiments et structures étudiées.

1.2. Les systèmes d'information du patrimoine de l'Institut national du patrimoine

Le SIG est utilisé à l'Institut depuis le début des années 1990, quand le registre national archéologique (SAS) a été créé. Ce SIG pour les enquêtes et inventaires archéologiques est élaboré à l'échelle de 1: 25000ème et lié aux enregistrements de la base des données archéologiques. SAS apparaît comme la première application web de l'Institut national du patrimoine en 1995. En 2002 SAS est enrichie par plusieurs bases de données partielles, principalement par les bases documentaires (ODAN). L'ensemble est publié sur l'Internet sous le nom de l'ISAD.

L'enregistrement des actes de protection des monuments et des sites l'Institut national du patrimoine est muni par la base de données de MonumIS, publié depuis 1996 sur l'Internet sous le nom de MonumNet.

En 2001 le SIG des secteurs sauvegardés et des zones de protection est fondée. En 2004 ce SIG est étendue aux monuments historiques. Il est élaboré à l'échelle des plans cadastraux.

2. LE SYSTEME D'INFORMATION INTEGRE DU PATRIMOINE

Les tentatives visant à unifier les systèmes d'information précédemment fragmentés ont abouti en 2006 au projet du Système d'information intégré du patrimoine IISPP.

Ces objectifs principaux sont les suivants:

- stocker tous types de données existantes et nouvellement acquises dans un entrepôt central de données pour assurer la sécurité et la redondance
- créer des applications personnalisées qui permettent une utilisation efficace et la mise à jour continue des données stockées dans un environnement de développement unique, avec la possibilité de définir différents niveaux d'accès aux données via Internet pour les utilisateurs internes et externes
- créer des méthodologies et des normes pour la gestion, le développement et l'utilisation de ce système complexe.

Le système dispose d'une interface Web qui peut être consulté par les utilisateurs enregistrés après l'insertion d'un nom d'utilisateur et mot de passe. Accès aux parties publiques de l'IISPP ne sont pas limités.

Les modules (sous-systèmes) intégrées accessible du site <https://iispp.npu.cz> actuellement comprennent:

- le SIG du patrimoine PaGIS (<http://gis.npu.cz>; depuis 2016 <https://geoportal.npu.cz>), qui fournit la localisation spatiale des éléments d'intérêt pour les autres modules de l'IISPP, la création et le stockage des données spatiales du patrimoine, leur analyse et publication sur l'Internet au moyen des cartes thématiques et des services WMS et d'ArcGIS Server
- la banque d'images et de documentation digitale et la base de ses méta-informations MIS (http://iispp.npu.cz/mis_public), qui donne actuellement accès aux 433 000

documents dont plus de 250 000 public

- la base des catalogues des médiathèques et des archives Tritius (<http://iispp.npu.cz/carmen>)
- le système d'information des données archéologiques ISAD (<http://isad.npu.cz>)
- le système de vocabulaires communs CodeBook, qui donne la définition des termes employés dans l'ensemble de l'IISPP
- le module pour l'exportation de la documentation numérique vers le portail Europeana, créé dans le cadre des projets européens CARARE (<http://carare.eu>) et LoCloud (<http://www.locloud.eu/>)

Dès le début du projet de l'IISPP il avait été envisagé d'intégrer aussi les bases des données de la Liste centrale du patrimoine. Le nouveau module du Catalogue du patrimoine, qui devrait être achevé vers la fin de 2015 (accessible depuis 2016 du site <http://pamatkovykatalog.cz>), modifie significativement le concept existant des bases MonumIS / MonumNet. Le Catalogue va permettre non seulement la gestion de la Liste centrale du patrimoine, mais aussi la gestion des inventaires topographiques et thématiques. Actuellement avant la mise en exploitation du Catalogue nous ne sommes pas encore en mesure d'illustrer pleinement tous les fonctionnalités nouvelles de l'IISPP, comme la plupart des modules existants subit aussi les adaptations nécessaires.

2.1. Les principes de l'IISPP

Interconnexion entre les applications intégrées (fig. 1) est et sera assurée par des identificateurs persistants:

- identificateurs d'élément de Catalogue (PrvekId) et du statut de protection légale (PrstavId)
- identificateurs spatiales de PaGIS pour des points de définition des éléments approuvé et conçu (IDOB_PG et Prir_cis), des localités et des régions (Kod_CZ et Kod_RS de la base de donnée CZ_Retro de SOVAMM); les relations spatiales assurent leur liaisons avec les registres territoriales et administratives d'Etat
- identificateur de document digital de MIS - Doc_Id
- identificateur de titre d'enregistrement de Tritius - Titul_cis
- identificateur d'enregistrement dans la base archéologique ISAD - IdSAS

Ceci permet aux applications intégrées de récupérer directement les attributs des enregistrements des autres modules et de les utiliser pour trouver et ouvrir l'enregistrement approprié. Un simple clic dans la carte permet ainsi ouvrir le document stocké dans la base de MIS ou le bordereau du Catalogue. Et un simple clic de ces applications suffit à visualiser la localisation de l'élément sur la carte.

L'identification spatiale utilisée dans l'IISPP peut sembler être plus compliquée que les géo-coordonnées simples, mais son avantage est l'identification unique: nous n'apprenons pas seulement où se trouve l'élément, mais aussi ce qui est représenté par cet élément. Grâce à ces principes d'identification spatiale l'IISPP est devenu un système d'information spatiale dans le vrai sens du mot (Syrová et Syrový 2011).

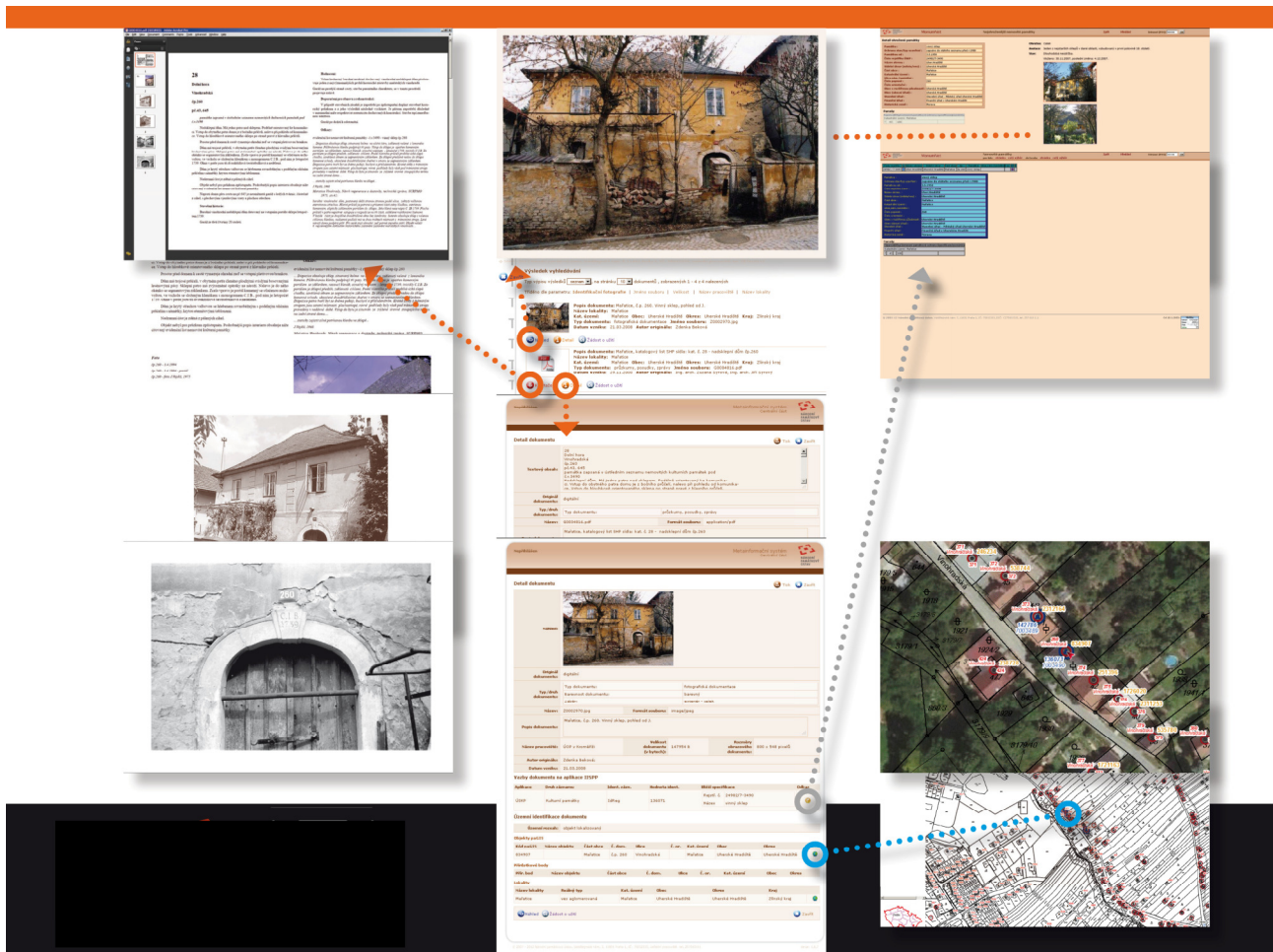


Fig. 1 Interconnexion entre les applications intégrées de l'IISPP: maison de vignobles, Mařatice, distr. Uherské Hradiště

2.2. L'interopérabilité avec d'autres systèmes

L'interopérabilité de l'IISPP avec d'autres systèmes d'information devrait être fourni principalement au niveau national. A part des obligations de dispositions réglementaires telles que les liaisons avec le Cadastre et d'autres registres d'Etat, ce sont surtout les relations avec les autres institutions de mémoire: les musées, les archives, les bibliothèques, l'académie des sciences. Dans ce contexte le lien aux autorités nationaux de la Bibliothèque nationale des vocabulaires de CodeBook est importante. Simultanément avec l'IISPP le projet de l'Interopérabilité des institutions de mémoire INTERPI (<http://www.interpi.cz>) est développé par les Archives nationales et la Bibliothèque nationale (Balíková 2013). L'IISPP devrait contribuer à la base de connaissance conçu par le projet INTERPI, qui en revanche va utiliser des identificateurs spatiales de l'IISPP. L'IISPP doit également prendre en compte les liens internationaux comme INSPIRE. Une partie de ses vocabulaires est conçu à l'égard des Vocabulaires de Getty (<http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies>).

3. PATRIMOINE EN TERRE DANS L'IISPP

Le patrimoine en terre semble être un peu caché dans l'IISPP actuel. La plupart de ses modules n'est pas encore capable d'utiliser les vocabulaires de CodeBook et la recherche entre les modules n'est pas encore possible. Tout cela devrait être à la disposition avec le

Catalogue. Jusque-là la recherche en plein texte ou les mots clés doivent être suffisant pour l'utilisateur dans tous les modules de l'IISPP. Les données du patrimoine en terre, cependant, dans IISPP existent et ne sont pas négligeables, depuis 2007 s'enrichissant à la fois des données des archives et des projets de recherche de l'Institut du patrimoine et celles de SOVAMM, qui participe activement à la création de l'IISPP.

3.1. Les cartes thématiques

La partie cartographique mis en œuvre dans le module PaGIS peut être divisé en deux: - les cartes thématiques à l'échelle des plans cadastraux (1:2880 - 1:1000) (fig. 2) ou des éléments et structures étudiées (1:100 - 1:25) (fig. 3) élaborées directement dans le cadre et avec les outils du SIG; les éléments analysés sont représentés par les polygones.

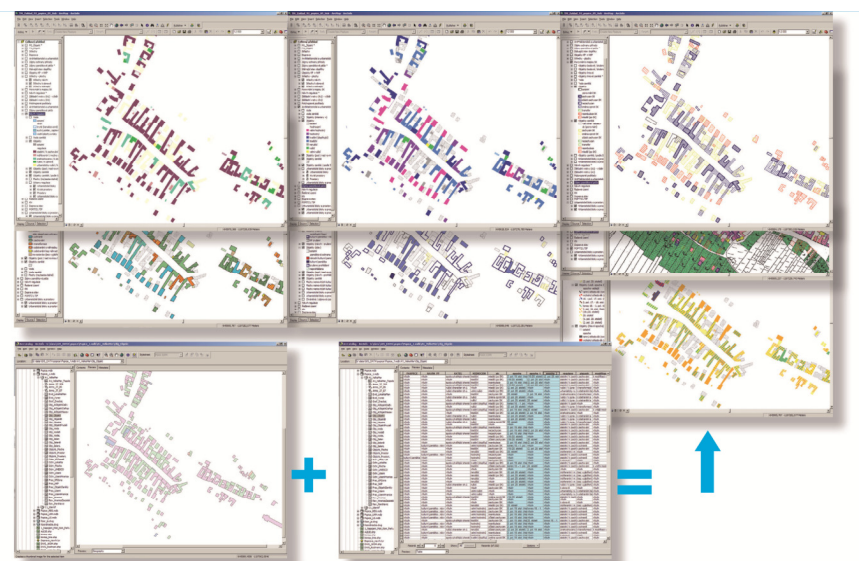


Fig. 2 Cartes thématiques de PaGIS à l'échelle des plans cadastraux: données spatiales du village Popice, distr. Znojmo



Fig. 3 Cartes thématiques de PaGIS des éléments et structures Etudiées à l'échelle 1:100: Čistá no. 97, distr. Svitavy

- les cartes thématiques d'échelle petite et moyenne dans lesquelles les identificateurs spatiales de l'IISPP sont utilisés pour représenter les éléments analysés; les éléments ne doivent pas être édités dans le SIG; jusqu'à la mise en service du Catalogue une table préparée séparément avec les identificateurs remplie correctement suffit pour l'élaboration de la carte

Les données raster des cartes historiques et des plans géo-référencés peuvent être utilisées dans les deux types des cartes thématiques.

Les types d'analyses thématiques définies permettent à visualiser les qualités architecturales, les étapes de construction, le mode et les matériaux de constructions, typologie de la disposition spatiale, les mesures de protection.

L'identification à l'aide du point de définition est naturellement la plus courante et la plus efficace pour recueillir et analyser les données. Dans ce détail les informations sur les structures en terre couvrent dans la densité inégale l'ensemble du territoire du pays.

En ce qui concerne les données spatiales pour les cartes thématiques à l'échelle des plans cadastraux on trouve ainsi incorporé dans PaGIS des villages du Parc National de Dyje (Thayatal) et de la région de Litomyšl et Vysoké Mýto, des villages du district de Vyškov, Olomouc et Uherské Hradiště.

3.2. Les fonds de documentation

Les documents stockés dans le module MIS concernant les constructions en terre peuvent aujourd'hui être distingués par les mots clé utilisés dans leur métadonnées:

- hliník - carrière de terre - 3 documents
- architektura hliněná - architecture en terre - 5744 documents
- konstrukce hliněné - construction en terre - 136 documents
 - hlína hloubená - terre creusée - 2 documents
 - hlína vrstvená - terre empilée - 185 documents
 - nakládání - bauge montée à la fourche - 137 documents
 - války - mottes ou «rouleaux» de terre - 48 documents
 - války bedněné - terre empilée et coffrée - 48 documents
 - nabíjení - pisé - 673 documents
 - cihla nepálená - brique crue - 1113 documents
 - omazávka hliněná - garnissage / «fourrure» du bois empilé-emboîté - 185 documents
- lepenice - torchis - 930 documents
- lepenec - isolation en terre - 20 documents
- omítka hliněná - enduit en terre - 81 documents
 - Murl - enduit à décor tracé par les doigts - 45 documents

Ces documents comprennent non seulement la documentation photographique depuis la fin du 19ème siècle (fig. 4), mais aussi les protocoles et les esquisses des enquêtes de terrain, fiches des inventaires, les monographies de bâtiments, leurs plans ainsi que les projets historiques de construction. Une partie de cette documentation de MIS est accessible à travers Europeana grâce au projet européen CARARE concernant le patrimoine archéologique et architectural. L'exploration des documents des archives de SOVAMM stockés dans MIS est prévue vers la fin de 2015; elle se déroulera dans le cadre du projet LoCloud concentré sur les institutions de petite et moyenne taille.



Fig. 4 Les vignobles de Mařatice en 1897: photo des archives du Musée de la Slovaquie Morave stocké dans MIS

3.3. Les construction de terre dans d'autres modules de l'IISPP

Les informations sur les structures en terre sont également inclus dans les données provenant d'autres modules de l'IISPP. Elles ne manquent pas parmi les données archéologique d'ISAD ni dans la bibliographie disponible grâce au module de Tritius (fig. 5). Les deux modules ne comptent pratiquement pas avec la recherche de tels attributs.

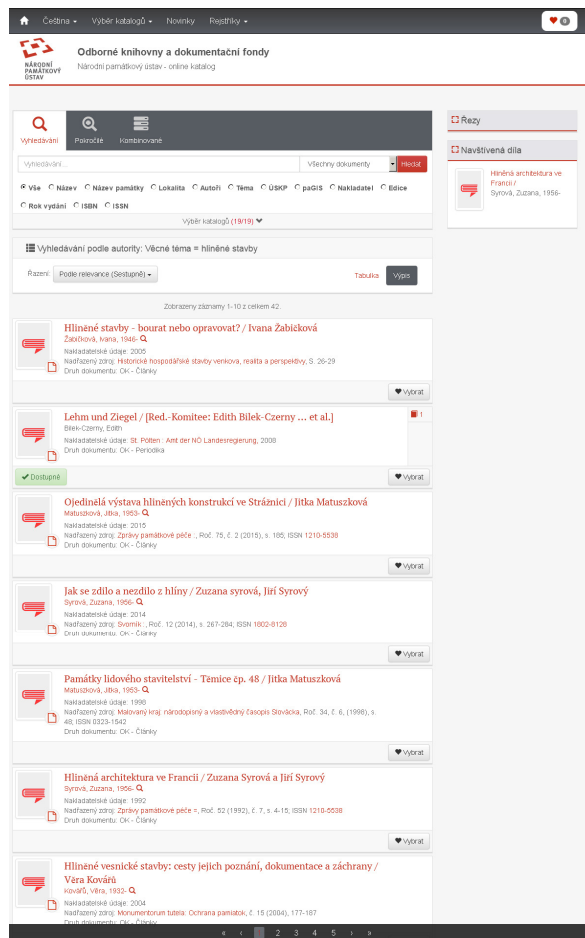


Fig. 5 Bibliographie des construction en terre crue dans le module Tritius de l'IISPP

3.4. L'inventaire thématique

Le Catalogue va permettre la publication des inventaires thématiques, parmi lesquels doit apparaître celui des structures historiques en terre. Un élément du Catalogue sera inclu dans l'inventaire par sa connexion avec le cercle thématique approprié. Sa fiche d'inventaire devrait contenir un court rapport avec l'identification, la description (implantation, parties d'élément inventorié et leurs liaisons, typologie constructive et de disposition, extérieur, détails...), l'analyse de l'évolution architecturale - des étapes de constructions (datation), la récapitulation des qualités architecturales et les recommandations pour les interventions postérieures. L'inventaire va utiliser le vocabulaires de CodeBook et profiter de l'interconnexion avec les documents de MIS, cartes thématiques de PaGIS et la bibliographie de Tritius.

Cet article est écrit au moment de la finition des dernières modifications de l'IISPP liées au module du Catalogue du patrimoine. Ce module, manqué pendant si longtemps, est basé sur les principes qui ont été établis pour la création de l'IISPP. S'il faut évaluer l'IISPP déjà aujourd'hui, ses points forts prouvés par les années de son utilisation sont:

- l'entrepôt central de données
- l'accès aux données via l'Internet
- l'interconnexion entre les applications intégrées par des identificateurs persistants
- l'identification spatiale
- l'interopérabilité avec d'autres institutions et systèmes

Le fait que dans le cas de l'IISPP il ne s'agit pas d'un système conçu uniquement pour gestion des données du patrimoine en terre peut être un avantage. Après la mise en exploitation du Catalogue et la connection de l'ensemble des modules aux vocabulaires centralisés l'IISPP va fournir un environnement complexe nécessaire pour la gestion et publication des inventaires thématiques, dont aussi celui du patrimoine en terre.

Bibliographie

Balíková, M. et al. (2013). INTERPI: nástroj pro zpřístupnění národního kulturního dědictví. *Knihovna* 24, 1, p. 28-44.

Syrová, Z. et Syrový, J. (1995). Inventory of earthen architecture in Czech Republic, evolution of methodological approach from the beginnings of interest in the 19th century and present activities. Dans Watson, L. et Harries, R. (eds) *Out of Earth II, National Conference on Earth Buildings*: p. 25-45. Plymouth: CEA, Plymouth School of Architecture, University of Plymouth.

Syrová, Z. et Syrový, J. (2011). GIS as a part of Czech Heritage Integrated Information System. XXIInd Symposium CIPA, September, 12th-16th, 2011, Prague, Faculty of Civil Engineering, Czech technical University in Prague.

Syrová, Z. et Eismann, Š. (2013). Geografické informační systémy v Národním památkovém ústavu. *ArcRevue* 2013, 2, p. 10 – 16.

Volfík, P. (2010). Výzkum, vytváření a implementace Integrovaného informačního systému památkové péče - cíle a způsoby řešení výzkumného úkolu, *Zprávy památkové péče* 70 (2010) 2, p. 83-85.

Biographie

Zuzana Syrová est ingénieur-architecte (FA VUT Brno 1981, titulaire d'un CEA de l'EAG et d'un DEA Histoire socio-culturelle de l'UVSQ). Elle est spécialisée dans l'architecture rurale et vernaculaire et travaille depuis 1988 à l'Institut national du patrimoine tchèque; depuis 2001 responsable du développement du SIG. Membre de l'ICOMOS ISCEAH.

Jiří Syrový est ingénieur-architecte et urbaniste (FA VUT Brno 1981). Il a participé à de nombreux projets relatifs à l'inventaire et la conservation. Depuis 2010 il est responsable du module de documentation digital de l'IISPP MIS à l'Institut national du patrimoine tchèque. Il est cofondateur et président de l'association SOVAMM.



The earliest use of adobes in Cyprus: Issues of provenance and use

Maria PHILOKYPROU

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Adobe was one of the primary building materials around the world throughout antiquity. The appearance of adobes did not take place simultaneously in all civilizations. Although there is evidence for the production of adobes in Cyprus since the Neolithic period, which coincides with the first permanent habitation on the island, the use of moulds in their preparation was identified at later periods (Late Bronze Age). This paper is based on the first comprehensive research, involving microscopic and laboratory analyses of more than 40 samples, collected from various prehistoric sites. The macroscopic and microscopic examinations have shown that a variety of soils and additives were used for the preparation of adobes. The research has revealed the chronological development of earthen structures on the island and investigated the position of Cyprus with respect to the rest of the ancient world regarding the technology of earth-based building materials.

1. INTRODUCTION

In the prehistoric period, earth, in different forms (adobes, rammed earth), formed one of the most widely used building materials around the world. A number of studies have shown that the initial use of earthen structures did not take place simultaneously in all civilizations (Houben and Guillaud 1994). Due to the limited existing literature and in-depth investigation on the earliest use of earth-based materials in Cyprus, there emerges the need for a holistic approach regarding the first earth production technology on the island. Archaeological reports and recent research has revealed that adobe brick was the first earth-based material used during the Neolithic period in Cyprus (Philokyrou 1998).

A wide use of earth-based materials in the prehistoric period is also observed in the wider area of the Eastern Mediterranean, the Aegean and the Orient (Syro-Palestine, Anatolia, India, China - Houben and Guillaud 1994, 6-15). In the Aegean, the use of adobe bricks can be traced back to the Neolithic period while the use of moulds for the manufacture of adobes began during the Early Bronze Age (Guest-Papamanoli 1978, 8, 17). The existence of rammed earth has also been recorded in the Aegean, although at a lesser scale than that of adobes (Shear 1968, 433). Adobes shaped by hand are observed, on a large scale, in the area of Syro-Palestine, and date back to the Natufian-Aceramic period (8000 BC) (Thomas 1995, 134; Wright 1985, 350-351; Reich 1992, 5). In the area of Anatolia, Egypt and Mesopotamia, adobes, of regular shape, have been recorded at even earlier times (since the 6th millennium) (Wright 1985, 353). The use of rammed earth in the area of Mesopotamia and Syro-Palestine is likely to have preceded constructions made of adobe bricks (9th millennium), but continued to appear at later periods as well (Leich 1988, 165. Wright 1985, 353. Thomas 1995, 136).

2. METHODOLOGY

A systematic research was initiated aiming to provide information on the use of earth-based materials, and especially adobe bricks, in Cyprus and to compare the production techniques adopted in the island with similar procedures followed in other civilizations. For this purpose, archaeological reports were carefully studied and more than 40 adobe samples were collected from various archaeological sites of the prehistoric period. *In-situ* studies were conducted and photographs were taken, before removing the samples from the various structural elements. The collected bulk samples were initially observed in the laboratory by a stereomicroscope to collect information about the type of organic additives present therein. In order to determine accurately the composition of the soil used for the

manufacture of adobes, chemical and mineralogical analyses by X-ray diffraction were conducted in a smaller number of samples (Neolithic period: Kalavassos-*Tenta*: KT.29, KT.31, KT.33 and Khirokitia: KH.2, KH.5, KH.14, KH.16, Early Bronze Age: Marki-*Alonia*: MA.1, MA.3, MA.9, Middle Bronze Age: Alambra-*Mouttes*: AM.9 and Late Bronze Age: Hala Sultan Tekke: HST.1, Maa-*Palaeokastro*: MP.6, MP.10, Kalavassos-*Ayios Dhimitrios*: AD.2, AD.9, Maroni-*Vournes*: MV.6, MV.16). Samples from the soil around the settlements were also taken in order to determine the source of raw materials used.

3. RESULTS OF THE RESEARCH

3.1. Manufacturing method

The investigation showed that the process of soil selection and preparation for the manufacture of adobe bricks is essentially the same in ancient and more recent centuries. Initially, the soil is cleaned by removing the large stones contained therein and placed in a natural trench. Then the required water is added. In most cases, the addition of some organic material is also observed. The mixture is left in the pit for some time before its use, to mature and ferment. After fermentation, the paste is shaped either by hand or by means of suitable moulds.

During the prehistoric period, two methods were used for the manufacture of adobes with moulds. The first method, which was the most common one, involved placing the mould on the ground, which was then filled with clay, smoothing the upper surface, and leaving the mixture to dry. The second method involved placing an amount of wet mixture by hand on the ground, before pressing a rectangular mould on top of it to remove the extra material. The latter method was indeed faster, but resulted in the creation of adobes with straight sides, but with curved upper surfaces (plano-convex) (Leick 1988, 144; Guest-Papamanoli 1978, 7). The moulds were then removed and adobes remained in place to dry and become solid. After two or three days, the adobes were turned over so that the lower surface could dry and were then placed upright on one side (Adam 1989, 62-63).

3.2. Different types of earthen structures

The results of the present research indicate that the most common type of earth-based building material used during the prehistoric period in Cyprus was adobes (Fig.1). Wall construction made of amorphous clay in successive layers, a technique similar to rammed earth, is far more limited and appears in some dwellings of the Neolithic period (Khirokitia, Kalavassos-*Tenta*). This method coexisted with the use of irregular shaped adobes, while it was more widely used during the Chalcolithic period as the predominant method of earth masonry construction (Thomas 1995, 23).

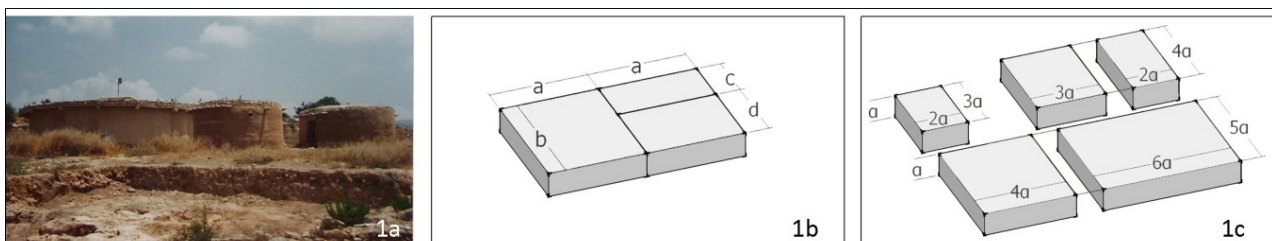


Fig. 1. Prehistoric adobes (1a: General view of a prehistoric site, 1b: Adobes from Dhali-Ambeleri, 1c: Most common ratios of prehistoric adobes)

The earliest adobes recorded on the island had a similar shape with rubble stones, since they were manufactured by people who knew how to build rubble masonry. These were irregularly shaped and of various dimensions, as they were in the form of hand-shaped loaves. A large variety in the dimensions of adobes in the various constructions, as well as in each masonry, has been identified in Khirokitia and Kalavassos-*Tenta* (Le Brun 1984, 23. Todd 1987, 35-36). The length of most of them ranges between 0.21 and 0.35 m., their width ranges between 0.12 and 0.26 m. and their thickness between 0.06 and 0.08 m. A layer of adobes on the upper part of a foundation of a rough stone construction came to light in Cape Andreas-*Kastros* with a hole on the top of 0.04 m. in diameter and 0.08 m. in depth. It is possible that these holes supported a lightweight sloping frame of branches (Philokyprou 1998).

Adobes of regular shape were always manufactured using rectangular timber moulds, and this explains why they, most often, have a normal rectangular shape (Fig.1b,c) with generally fixed dimensions. Adobes of this type appeared on the island during the Early and Middle Bronze Age and coexisted with adobes of irregular shape. Nevertheless, they were widely used during the Late Bronze Age.

Of particular interest are the dimensions of the adobe bricks found in Dali-*Ambeleri*. They can generally be divided into three types of such sizes that, when combined together, they create a compact construction (Fig.1b). The three types of adobe are equally thick; the width of type 3 is equal to the length of type 1 and 2, while the length of type 3 is equal to the sum of the width of type 1 and 2 (Philokyprou 1998).

The research has shown that adobes of rectangular shape are the predominant ones in most settlements. Adobe bricks generally have a substantial thickness of 0.10-0.15 m. There is a great range in their dimensions and thus the use of a fixed measuring unit cannot be clearly distinguished. It is likely that the human palm was used as a measurement unit which explains the lack of uniformity in sizes. However, some fixed ratios of 4:3:1, 4:2:1, 2:3:1, 5:4:1, 5:6:1 can be observed (Fig. 1c), with a relative preference to the dimensions of 0.40 m., 0.50 m., 0.60 m.

Adobes were mainly used for the construction of the upper part of load bearing walls. The construction was almost always combined with rubble or ashlar masonry that formed the base (lower part). Adobes were arranged in regular successive layers in such a way that the vertical joints of each layer bisected the underlying earth bricks, thus avoiding continuous joints. Masonry of the Neolithic period constructed with varying combinations of rubble stones and adobes, both at height and width, has frequently been recorded to have two, three or even four tangential rings; the external ones usually made of stone and the internal ones made of adobes, having an overall thickness of 0.70-1.70 m. In later periods, especially during the Late Bronze Age, adobes were placed either lengthwise (as stretchers) creating thin walls or as headers (*diatoni*) to achieve thicker walls. More complex arrangements were often achieved by placing two, three or even four rows of adobes laid in combinations of headers and stretchers.

3.3. Types of soil and organic additives used for the manufacture of adobes

The chemical analysis of the majority of samples showed that the manufacture of adobes involved the use of soil with high content of calcite (CaCO_3). In most adobes, the level of calcium oxide ranges between 30% and 40%. The samples also show high content of silicon oxide (SiO_2) with rates ranging between 10% and 20% (Table 1 and 2). There are however, examples of higher content of silicon oxide (samples KH.14, MA.3, AM.9, HST.1, MP.10). The proportion of aluminum oxide (Al_2O_3) usually ranges from 2% to 5%. In several cases, greater rates were reported reaching 7.45% to 10% (samples MP.10, MA.3, HST.1, AM.9, KH.14). Silicon and aluminum oxides most probably come from clay minerals, which assign the clay its cohesive properties. The mineralogical analysis also

revealed a high content in calcite, and frequent presence of other minerals such as quartz, feldspar (albite) and clay minerals (montmorillonite, kaolinite, nontronite, etc.).

The composition of adobes in Kalavasos-*Tenta* presents a peculiarity. The chemical and mineralogical analysis showed a rather high percentage of gypsum. The existence of gypsum in adobes is quite unusual and the research showed that this was attributed to the use of soil from the immediate surroundings of the settlement consisting of gypsum and covered by secondary deposits of lime and gypsum compositions (Todd 1987, 11). Another peculiarity revealed by chemical and mineralogical analyses is the existence of a high rate of strontium (sulfate celestite) in the adobes of Khirokitia (Table 2). This mineral is quite rare on the island and is mainly found in the geological strata of the area near the Neolithic settlement of Khirokitia.

The analyses of local soil from the surroundings of the prehistoric sites under study on the island showed that the manufacture of adobes was achieved using local soils that were available in the immediate environment of the settlements. The use of two, or more, types of soil (or their combination) for the preparation of raw material was a common practice, in order to achieve the proper amount in clay content.

Table 1. Chemical analyses of adobes from the Neolithic period

	KT.29	KT.31	KT.33	KH.2	KH.5	KH.14	KH.16
SiO ₂	12,21	15,24	15,24	23,03	10,32	49,03	11,17
Al ₂ O ₃	2,22	2,70	2,29	4,26	2,43	12,43	2,03
Fe ₂ O ₃	1,14	2,09	1,53	2,20	1,05	9,21	0,94
MgO	0,94	0,87	0,92	3,24	0,98	5,90	0,75
CaO	35,67	29,59	32,53	32,88	36,61	8,77	38,70
Na ₂ O	0,13	0,32	----	0,55	0,22	3,33	1,29
K ₂ O	0,31	0,56	0,48	0,84	0,38	0,64	0,38
MnO	0,03	0,05	0,05	0,07	0,08	0,17	0,03
SrO	----	----	----	----	11,23	0,21	6,42
SO ₃	29,18	25,17	20,39	2,05	7,35	0,29	5,02
L.I.	17,72	23,75	26,31	30,57	29,02	10,06	33,04
Total	99,55	100,3	99,74	99,69	99,67	100	99,77

Table 2. Chemical analyses of adobes from the Late Bronze Age

	MA.1	MA.3	MA.9	AM.9	HST.1	MP.6	MP.10	AD.2	AD.9	MV.6	MV.16
SiO ₂	16,59	30,84	9,06	38,46	32,28	17,09	26,71	19,01	15,94	15,18	13,70
Al ₂ O ₃	4,58	8,62	2,56	10,60	9,55	4,04	7,45	4,53	2,99	3,82	3,23
Fe ₂ O ₃	2,36	5,94	1,40	7,30	6,02	1,83	3,65	2,17	1,32	2,28	1,96
MgO	1,45	6,07	0,60	3,35	3,87	1,58	2,28	1,62	1,25	1,92	1,72
CaO	39,87	21,40	46,62	18,88	23,66	39,17	29,73	37,08	41,62	39,17	41,27
Na ₂ O	0,34	0,21	----	0,50	0,79	0,58	0,29	----	0,05	0,11	0,49
K ₂ O	0,88	1,32	0,32	1,54	1,30	0,70	1,29	0,72	0,30	0,51	0,46
MnO	0,11	0,17	0,06	0,22	0,12	0,03	0,06	0,06	0,06	----	0,04
SO ₃	0,30	0,24	0,25	0,24	0,10	0,12	0,15	0,39	0,48	0,33	0,16
L.I.	33,10	24,88	39,15	19,20	22,79	34,80	28,32	34,05	36,33	36,55	37,00
Total	99,58	99,69	100,1	100,2	100,4	99,94	99,93	99,63	100,3	99,87	100

Quite often, plant residues added in the mixture were detected in several adobes. The most common additive, often recorded in excavation reports and also found *in situ*, is straw and broken stalks cobs (Khirokitia, Kalavasos-*Tenta*). Traces of grass and other plant residues were found in adobes in Kalavasos-*Tenta* and in Hala Sultan Tekke, reeds in Morphou-*Toumba tou Skourou* and sea weed in coastal settlements, such as Maa-*Palaiokastros*.

4. CONCLUSIONS AND COMPARATIVE ASSESSMENT

In conclusion, it can be noted that the earliest use of adobes in Cyprus coincides with the first permanent habitation on the island during the Neolithic period. An evolution in the construction of earthen walls can be observed during the prehistoric period on the island. The main method of earth wall construction in the Neolithic period was hand-shaped adobes, while during the Chalcolithic period the prevailing method was wall construction with amorphous clay layers. The prevalence of masonry construction with clay in layers during the Chalcolithic period cannot be easily explained. Masonry made of layers of clay is a very primitive earth masonry construction and could have inspired the conception of hand-shaped adobes (Wright 1985, 351), as seems to have been the case in the region of Syro-Palestine and Anatolia.

The introduction of rectangular adobes seems to coincide with the introduction of rectangular buildings with linear elements (end of the 3rd millennium) in the Cypriot architecture, while their wider use is associated with the urbanization of the island, 1000 years later, as well as with the appearance of public and administrative buildings. This is a phenomenon observed in other cultures as well, such as in Anatolia, where the wide use of moulds is recorded as early as the Chalcolithic period, due to the earlier appearance of urban centres in this region.

The research revealed that the use (manufacturing and construction method) of adobes in prehistoric Cyprus shows similarities and differences, in individual construction elements, compared to the Aegean and Eastern Mediterranean. However, it seems that the use of earth-based materials appeared independently in the various cultures and thus the technology did not spread from one culture to the other (Houben and Guillaud 1994, 8).

Adobes, used at a large scale in Cyprus in prehistoric times, continued to have been reported until recently in traditional architecture (Fig. 2a,b). Traditional architecture shows a greater standardization and prevalence of adobes with fixed dimensions and reduced thickness compared to the prehistoric examples. In traditional architecture, very simple arrangements of adobe laying can be observed compared to the variety of set-ups observed in prehistoric architecture.



Fig.2. Adobes used in vernacular (2a, 2b) and contemporary architecture (2c)

The widespread use of earthen structures in Cyprus, both in prehistoric and traditional architecture, is associated with the fact that this building material is more economic, due to the abundance of raw material on the island suitable for this purpose. The wide use of adobes is also associated with the arid climate of the island which allowed quick drying and easy maintenance. At the same time, earthen structures exhibit many environmental and social advantages as they require limited energy consumption and consist of a material with significant thermal advantages (high thermal mass and capacity). For the above reasons, earth has more recently been taken up in contemporary architecture as well (Fig. 2c), especially in arid climates, contributing to a more sustainable built environment.

REFERENCES

- Andreadaki, E. (2006). Bioclimatic design. Environment and sustainability. Thessaloniki: University Studio Press.
- Asan, H. (2006). Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials. *Building and Environment*, 41(5), p.615-620.
- Adam, J.P. (1989). *La Construction Romaine. Matériaux et Techniques*. Paris.
- Guest-Papamanoli A. (1978). "L'Emploi de la Brique Crue dans le Domaine Egéen à l' Époque Néolithique à l'Âge du Bronze", *Bulletin Correspondance Hellenic* 1, pp. 3-24.
- Houben H. and Guillaud H. (1994). *Earth Construction. A Comprehensive Guide*, London: Intermediate Technology Publications.
- Le Brun A. (1984). *Fouilles Récent a Khirokitia (Chypre) 1977-1981*, Paris.
- Leick G. (1988). *A Dictionary on Ancient Near Eastern Architecture*, London.
- Philokyprou M. (1998). *Building Materials and Structures in Ancient Cypriot Architecture* (Unpublished PhD thesis, University of Cyprus).
- Reich, R. (1992). "Building Materials and Architecture Elements in Ancient Israel" στο A. Kempinski and R. Reich (edit.) *The Architecture of Ancient Israel from the Prehistoric to the Persian Periods*. Jerusalem.
- Shear I.M. (1962). *Mycenean Domestic Architecture* (PhD, Bryn Mawr College).
- Thomas G. (1995). Prehistoric Cypriot Mud Buildings and their impact on the Formation of Archaeological Sites (Phd thesis, University of Edinburgh).
- Todd I. (1987). *Vasilikos Valley Project 6. Excavations at Kalavastos Tenta* (Sima LXXI:6), Goterberg.
- Wright, G.R.H. (1985). *Ancient Building in South Syria and Palestine*, Leiden.

BIOGRAPHY

Maria Philokyprou is an Assistant Professor in the Department of Architecture at the University of Cyprus. Her main research interests cover the field of conservation and vernacular architecture and focus on traditional building materials and methods of construction, the preservation and promotion of architectural heritage and the environmental features of vernacular architecture.



Materiales y Técnicas Constructivas en Lambayeque Prehispánico

Haydeé CHIRINOS, Eduardo ZÁRATE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

Con la finalidad de contribuir al conocimiento sobre la construcción prehispánica en Lambayeque -región ubicada en la costa norte peruana, en Sudamérica- este artículo refiere en primer lugar una breve descripción de su arquitectura y continúa con la exposición de los principales materiales y técnicas constructivas, que son identificados como resultado de la investigación bibliográfica y documental interdisciplinaria, y la observación in situ. Se evidencia que los materiales y técnicas de construcción empleados son variables en función de las etapas culturales y de los tipos arquitectónicos, no obstante presentan en común el uso masivo de la tierra cruda y de la quincha.

Se concluye que en Lambayeque prehispánico, la construcción constituyó un proceso tecnológico evolutivo relacionado, en cada caso, al hecho arquitectónico implantado en el entorno referido, utilizando los recursos naturales del medio como materiales, y empleando técnicas que fueron creadas de acuerdo a las condiciones geográficas e histórico-culturales y que por lo tanto se constituyen como autóctonas.

INTRODUCCIÓN

La historia de la construcción en el Perú no es un campo suficientemente estudiado, por ello, todo esfuerzo al respecto constituye un aporte importante que puede conducir a la revaloración de conceptos para el logro de una arquitectura sostenible y la afirmación de la identidad cultural.

Los autores vienen realizando investigaciones sobre la arquitectura y construcción desarrolladas a lo largo de la historia en Lambayeque (Chirinos, H. y Zárate, E., 2011). En este caso en la construcción prehispánica, se enfatiza en las edificaciones que por sus particularidades o por su influencia cultural resultan representativas.

Objetivos

General: Conocer las características constructivas de la arquitectura prehispánica de Lambayeque.

Específico: Identificar, describir y analizar los sistemas constructivos predominantes.

Material y métodos

Los estudios se efectuaron a través de la observación, descripción y comparación.

Población y Muestra

Población: Arquitectura prehispánica de Lambayeque.

Muestra: Los sitios estudiados fueron Ventarrón (6°48'21"S-79°45'35"O), Lucía (6°28'15"S-79°45'30"O), Collud (6°47'09"S-79°46'27"O), Sipán (6°47'33"S-79°36'29"O), Pampagrande (6°45'46"S-79°28'27"O), Chotuna (6°43'13"S-79°57'10"O) y Túcume (6°30'52"S-79°50'53"O).

Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

- Técnicas: revisión bibliográfica y documental interdisciplinaria, observación in situ y de objetos varios (cerámica escultórica y grabados prehispánicos, reconstrucciones hipotéticas), entrevistas a especialistas (arqueólogos).

- Instrumentos: inventario documental, dibujo arquitectónico y constructivo.

Análisis de los datos.

Al utilizar información específica sobre el tema, se trabajó por deducción directa, verificando mediante la observación in situ. A falta de información directa, se usó analogías.

RESULTADOS

MARCO HISTÓRICO GEOGRÁFICO

En Perú, la región Lambayeque (6°S y 79°O) se ubica en la costa norte; limita por el Norte con Piura, por el Sur con La Libertad, por el Este con Cajamarca, y por el Oeste con el Océano Pacífico. El área de estudio se centra en los valles de los ríos La Leche, Chancay y Zaña (Ver Figura 1).

Su clima es en general templado, en el verano las temperaturas fluctúan entre 30° C y 20° C; y en invierno, entre 23° C y 16° C. Hay lluvias en verano, excepcionales y violentas, solo cuando se produce el Fenómeno El Niño.

Lambayeque se puede considerar hoy como uno de los centros originarios de cultura de los Andes Centrales. En su evolución se han consolidado conceptos de tradiciones propias y cultura regional (Alva, 2008).

Durante el periodo Precerámico (hasta 2000a.C.), se presentan centros ceremoniales que expresan un buen nivel de desarrollo, tal como Huaca Ventarrón, formado por plataformas, terrazas y recintos conectados por escaleras. En el periodo Formativo (2000a.C.-100d.C.), algunos sitios representativos son Huaca Lucía y Collud.

Durante el periodo de los Desarrollos Regionales (100d.C.-700d.C.), según recientes postulados, se considera a los Mochicas en Lambayeque como una compleja organización estatal que tuvo su propia dinámica de crecimiento ocupando toda la región. Los sitios representativos son Sipán y Pampagrande.

Los Lambayeque o Sicán (750-1375d.C.), surgen a la decadencia del reino Mochica. Se desarrollan hacia el final del Horizonte Medio y en el Período Intermedio Tardío, su centro estuvo en los valles de Motupe, La Leche, Lambayeque y Zaña. Sitios representativos: Pómac, Chotuna, Túcume, entre otros. Hoy, es difícil determinar todos los sitios de ocupación debido a que no se ha hecho investigaciones a fondo en toda la zona.

La ocupación Chimú (1350-1470d.C.) e Inca (1470-1532d.C.) en Lambayeque, no producen variantes importantes en la producción arquitectónica.



Figura 1. Lambayeque. Sitios prehispánicos estudiados. Elaboración propia en base a (GRL, 2016).

1. LA ARQUITECTURA PREHISPANICA

Se presenta en dos tipos generales: la arquitectura pública y la arquitectura doméstica. La mayoría de los complejos públicos religioso-administrativos comprende además la arquitectura habitacional de la élite y del personal de servicio. La arquitectura doméstica popular (habitacional y de servicios), generalmente ocupaba los alrededores de los centros ceremoniales.

1.1. La Arquitectura Pública

La arquitectura ceremonial fue expresión de desarrollo cultural. El patrón arquitectónico representativo consta de grandes montículos tronco piramidales (hasta 700m de lado y hasta 50m de altura) formados y/o acompañados por plataformas y terrazas superpuestas conectadas mediante escaleras (en el Precerámico y en el Formativo) o rampas centrales, laterales o circundantes. Los montículos, son los componentes volumétricos representativos del poder (religioso). Además, sobre ellos o en los alrededores inmediatos, se presentan las estructuras livianas de recintos en los que se desarrollan las funciones rituales (templos), residenciales de élite y administrativas.

1.2. La Arquitectura Habitacional

En Lambayeque, es difícil encontrar vestigios de esta tipología, pues el clima y los materiales del lugar, ocasionaron poca duración. Sin embargo, existen otras fuentes de información: el arte prehispánico local Sicán y Mochica, con representaciones escultóricas o pictóricas; estudios análogos en el vecino valle de Moche (Campana, 1983) (Campana, 2000) (Pimentel, 2004); la tradición local que mantiene hasta hoy conocimientos ancestrales sobre la construcción; entre otros.

A partir de los estudios realizados por estos autores, es posible generalizar en dos tipos: la vivienda de la élite, comprendida en los complejos ceremoniales, ubicada sobre plataformas elevadas, compuesta por múltiples recintos de adobe y quincha, especializados y diferenciados: cerco perimétrico, portal de entrada y guardianía, plaza de recepción, sectores de reunión y de servicio con cocinas, almacenes y viviendas de trabajadores; y, la vivienda de las clases populares, que ocupaban los alrededores y las áreas rurales, constituida por recintos pequeños de quincha usados para cocina, descanso y almacenamiento, espacios para trabajo y producción. En ambos tipos está presente la estructura espacial exterior-interior denominada ramada.

2. LA CONSTRUCCION

Con información procedente de investigaciones arqueológicas en la región donde se resalta el trabajo de Reindel (1999), y la observación in situ en las huacas que constituyen la muestra, es posible referir:

2.1. Materiales

El principal material de construcción es la tierra cruda trabajada como barro, champas y adobes. Con éstos, se conformaron muros de albañilería y de quincha, contrafuertes, y volúmenes.

Inicialmente se usó el barro junto con la piedra. Luego, se usó las champas (trozos de tierra sedimentada, extraídos del terreno, asentados con mortero de barro, observados en Huaca Ventarrón) y los adobes, con formas cónicas y cilíndricas (modelados) y luego paralelepípedos (moldeados). Los adobes cónicos, en Huaca Lucía conforman muros y columnas (Ver Figura 2). Las huellas de los dedos que se encuentran en varios ejemplares indicarían que se modelaron con barro húmedo, apoyando su base en el suelo dando la forma con las manos desde la punta hacia abajo.

Los adobes cilíndricos que se hallan en Huaca Collud, posiblemente fueron hechos utilizando telas o tejidos de caña (Ver Figura3).

En los sitios estudiados, se observó que los adobes fueron elaborados con arcilla como materia de cohesión, asimismo materiales orgánicos fibrosos, desperdicios domésticos y conchas partidas, posiblemente para mejorar su propiedad mecánica y resistencia a la humedad. Asimismo, en albañilería expuesta, que el mortero es abundante y más amarillo, evidenciando una mayor concentración de arcillas limosas. En la actualidad, la construcción vernácula con tierra en Lambayeque, incluye el estiércol y una sustancia coloidal proveniente de cactus, tanto en la mezcla del adobe como en la de los morteros de revoque y enlucidos, para promover la adherencia. Lo que evidencia el conocimiento de las propiedades y composición necesaria de los materiales.

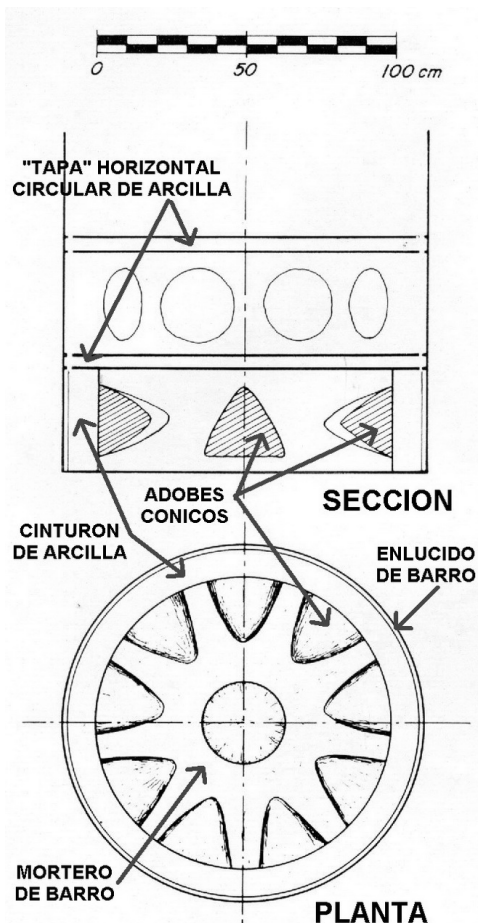


Figura 2. Columna construida con adobes cónicos. (Redibujado de Shimada, 1983).

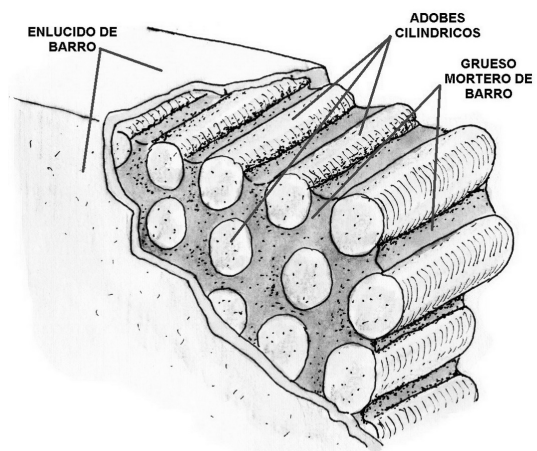


Figura 3. Adobes cilíndricos. Longitud aproximada 60cm. Gráfico de los autores.

Los adobes se dispusieron en diversas formas de aparejos trabados, para los muros de las plataformas de los montículos tronco piramidales, o para los muros portantes de las demás edificaciones, y para conformar extraordinarias columnas.

El uso de moldes, de caña o madera, permitía adobes con dimensiones homogéneas, favoreciendo así la producción y el cálculo de los materiales y de la mano de obra requerida.

La piedra, en la mayoría de los casos se observa como apoyo o refuerzo de estructuras de adobe.

Otro material característico es el algarrobo. Se usó siempre en rollizo, como columna (horcón) o viga, dintel, umbral en las puertas, y como pie derecho, carrera o tornapunta en la quincha, para la conformación de recintos. Las características de su forma (longitud útil 2-6m, diámetro .20-.35m y su conformación sinuosa), determinaron las características dimensionales y formales de la arquitectura en la cual se le utilizó. En las plataformas o montículos, se usó dentro de las estructuras sólidas de adobe, o conformando superficies horizontales estabilizadoras entre las plataformas superpuestas. De la misma manera se utilizó la guadua o caña "Guayaquil". La caña brava, especie más delgada y ligera, fue usada en las cubiertas y muros de los recintos. Según lo prueban las improntas en las estructuras y morteros de cielorrasos y enlucidos.

2.2. Técnicas

2.2.1. Conformación de montículos y plataformas

Teniendo como base la observación de los montículos tronco piramidales existentes, se han identificado dos tipos constructivo-estructurales, y uno más que se puede referir como una combinación de ambos, configurando una etapa de transición. Se diferencia estructuras homogéneas macizas exclusivamente de adobes, y, construcciones mixtas de muros y rellenos.

El montículo de bloques modulares de adobes. Implicó más tiempo y esfuerzo en la fabricación de adobes y la misma construcción. La técnica consiste en levantar grandes bloques verticales (1.5mx1.5m de sección y 2m de altura en promedio) solo con adobes (y mortero) ordenados en sentidos diferentes. Se consideran juntas verticales (5cm) que se encuentran dispuestas de forma paralela y en ángulo recto respecto a las fachadas del edificio; estructuralmente, estas juntas funcionarían como disipadores de energía sísmica, reduciendo el impacto en el montículo. Esta hipótesis debe modelizarse en programas estructurales para confirmar y caracterizar su funcionamiento. El volumen final del montículo se logró mediante el adosamiento y superposición de estos bloques (Ver figura4).

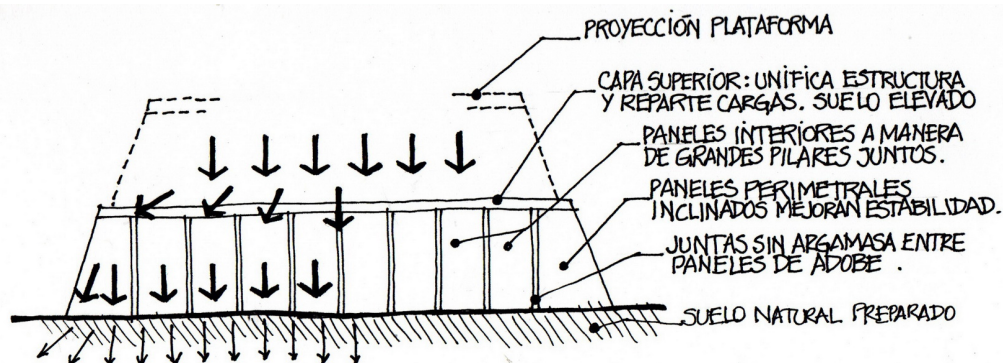


Figura 4. La técnica de bloques modulares de adobes. Gráfico de los autores.

El montículo de los reticulados de cámaras rellenas. Se constituyó mediante plataformas superpuestas. La técnica consistió en conformar dichas plataformas, mediante muros de adobe que generaba un conjunto de cámaras (cuyos lados medían entre 1m y 6m) destinadas a contener rellenos con tierra, piedras, arena o materiales de deshecho. El adosamiento de estas cámaras, una al lado de la otra en alineamiento

ortogonal, formaba una retícula o emparrillado. Una vez rellenas las cámaras, eran selladas con un piso de barro o refuerzos de esteras, vigas, baldosas u otros elementos estabilizadores dando lugar a un nuevo nivel. Esta técnica permitió ahorrar material y tiempo en la construcción, ya que incluso se utilizaba como relleno el material que inicialmente se había recogido para preparar y limpiar el terreno donde se asentaría una de estas edificaciones. Sin embargo, también tuvo desventajas, ya que algunas veces las capas estabilizadoras fueron insuficientes asentándose el relleno de las cámaras. Aunque se presentan a lo largo de todo el prehispánico, se observan masivamente en edificaciones Sicán.

Los muros perimetrales de los montículos son anchos, inclinados y a veces dobles; demostrando criterio estructural al facilitar el confinamiento, mejorar la resistencia de las plataformas y transmitir mejor los esfuerzos al suelo (Ver Figura5).

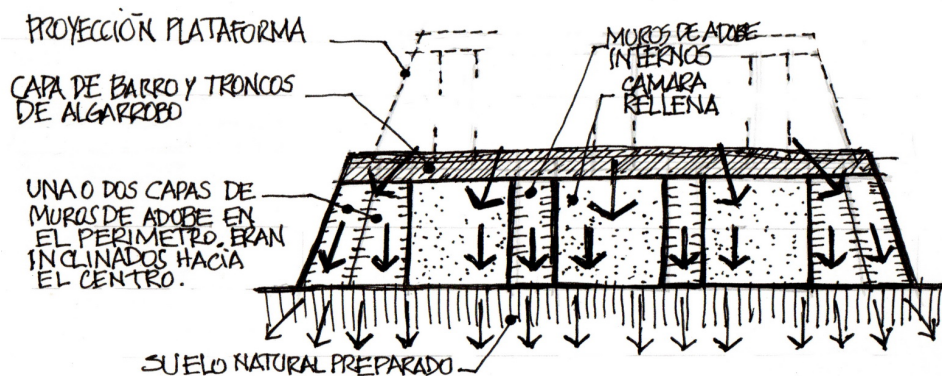


Figura 5. La técnica de los reticulados de cámaras rellenas. Gráfico de los autores.

El montículo transicional de paneles y cámaras rellenas.

Observando las descripciones de Huaca Fortaleza-Pampagrande, la estructura tronco piramidal más alta de Sudamérica (Shimada, 1994)(Canziani, 2009), los autores proponen un nuevo tipo constructivo-estructural que marca el fin de uno y el inicio del uso del otro sistema. Se trataría de una combinación de construcción con varias hileras de paneles modulares de adobe en un grueso perímetro de las plataformas, con cámaras rellenas en el centro de las mismas o en su parte superior (Ver Figura6).

En esta gran estructura, de unos 250x180m y más de 30m de altura (posiblemente llegó a tener 54m de altura), la última construida en Lambayeque por los Mochicas en su etapa tardía, posiblemente ante cambios económicos y buscando disminuir costos constructivos sin perder la monumentalidad, se buscó acelerar la construcción y aminorar recursos produciéndose un cambio en el diseño y resultando una estructura mixta entre los bloques y las cámaras rellenas.

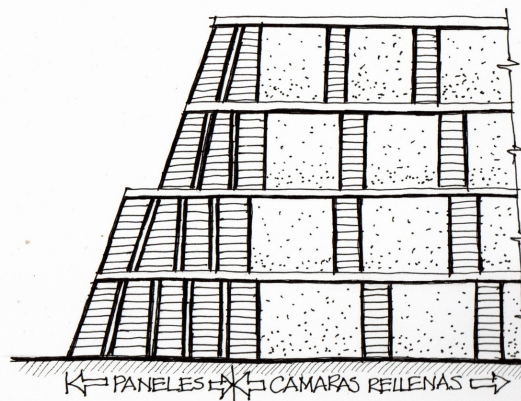


Figura 6. Montículo transicional de paneles y cámaras rellenas. Gráfico de los autores.

Análisis y comparaciones

Las técnicas de construcción de montículos tienen en común que los volúmenes sólidos de geometría simple y simétrica (cuadrados, rectángulos y trapezios en sección) son estructurados en unidades más pequeñas, con diferentes comportamientos en ambas técnicas (debido a la independencia de los módulos estructurales en el caso de los bloques de adobe) (Ver Figura 7). En general, los montículos tronco piramidales se comportan bien ante los sismos, ya que estructuralmente ayuda su composición masiva y su forma que es muy estable (Ver Figura 8).

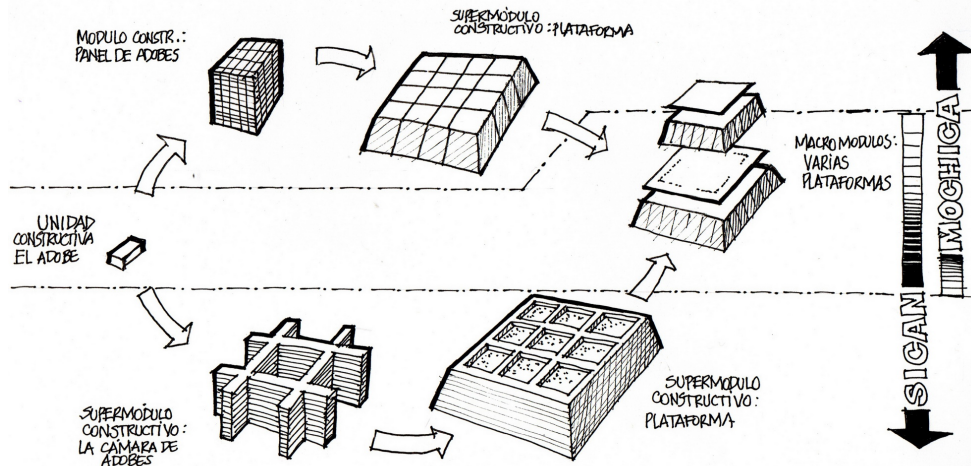


Figura 7. Estructuración de los montículos. Gráfico de los autores.

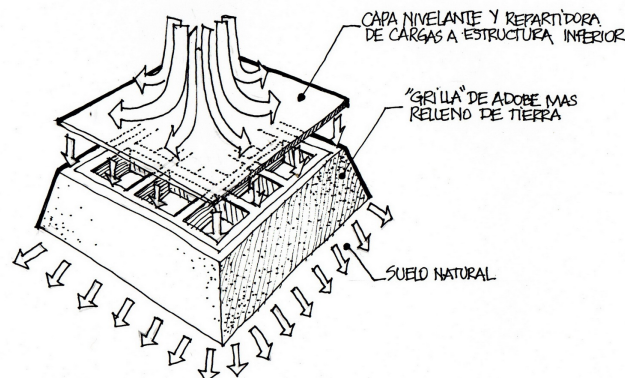


Figura 8. Comportamiento de la estructura de los montículos. Gráfico de los autores.

Los montículos de adobe están contruidos directamente sobre el terreno sin cimentación. Para impedir la deformación por el cese del suelo o el deslizamiento, en algunos casos se colocó zócalos de piedra. En Huaca Fortaleza - Pampagrande, una capa de cantos rodados de diferentes tamaños sirve de base al edificio.

La construcción sucesiva de las plataformas, para generar los montículos, se vio favorecida por la antigua tradición del enterramiento ritual de los templos. Este acto, que posiblemente implicaba el quemado de la superficie, generaba no solo la protección de las estructuras anteriores sino también la preparación de un nuevo nivel de construcción.

La construcción no tiene trabes entre plataformas, dándole cierta independencia. Esta característica es casi contradictoria con la masividad extrema del edificio, que es la base de su criterio estructural, la cual junto al uso casi exclusivo de la tierra, permitió una fácil transmisión de cargas y esfuerzos verticales y laterales, debido a la casi inexistencia de diferentes resistencias y módulos de elasticidad del material.

El proceso constructivo de los grandes montículos, debido a su gran magnitud, enorme uso de recursos materiales e ingente número de constructores, necesariamente implicó el conocimiento de la planificación de la construcción y de la especialización de labores.

Pensamos que la construcción de grandes montículos tendría asociada una industria de fabricación de adobes: un montículo principal podía llegar a tener una hectárea de superficie donde posiblemente se usaron unos 15 millones de adobes en su construcción. Esta hipótesis evidencia que sería imposible semejante empresa sin el uso de gaveras, que debieron tener un sistema de desmolde para facilitar más unidades con menos recursos.

2.2.2. Técnicas para la construcción de recintos

En la construcción de las edificaciones de elite, se trabajó con muros de adobe enlucidos, estructuras de apoyo y techo de algarrobo y cubiertas de caña y barro. Los cimientos corridos para muros fueron de escasa profundidad (0.50m sobre el suelo, hasta 0.20m de excavación aproximadamente). Los cimientos aislados para columnas-horcón de algarrobo consistían en una excavación de 1m de lado y de 1.5m de profundidad con adobes, tierra y piedra como relleno. La quincha fue una de las técnicas empleadas en la conformación de muros secundarios en estas edificaciones.

En las edificaciones populares, la quincha se usó en todos los componentes de los recintos: muros y techos; fue muy elemental, sin embargo se trata de una técnica que utilizando recursos del entorno es económica, ecológica y permite el confort climático interno (en la zona). Los paneles se hicieron a partir de una armazón estructural de madera en rollizo), unida por fibras vegetales o tiras de piel (huasca). Sobre este armazón se trenzaban o entretejían las cañas, fijándolas también con amarres, para formar la superficie en la que finalmente se aplicaba una capa de barro (torta).

La organización constructiva de los recintos se constituyó con una estructura de algarrobo conformada por columnas-horcón que sostienen vigas sobre las cuales bajan viguetas. Sobre ellas se teje caña brava, estera de totora y barro (protección del material orgánico y generación de propiedades térmicas). Los muros de quincha, no necesariamente cumplían la función de recibir las cargas del techo, siendo estructuralmente independientes del techo. (Ver Figura 9).

Las banquetas o poyos, son volúmenes adosados a los muros, refuerzan o protegen la base o cimentación. Se construyeron con adobe o quincha. Tuvieron diferentes dimensiones y alturas según su uso como asientos, camas, mesas o áreas de trabajo.

Técnicas de albañilería: En los edificios estudiados se observa aparejos muy simples: adobes dispuestos de sogá, de cabeza; asimismo aparejos mejor trabados con hiladas alternas de sogá y cabeza.

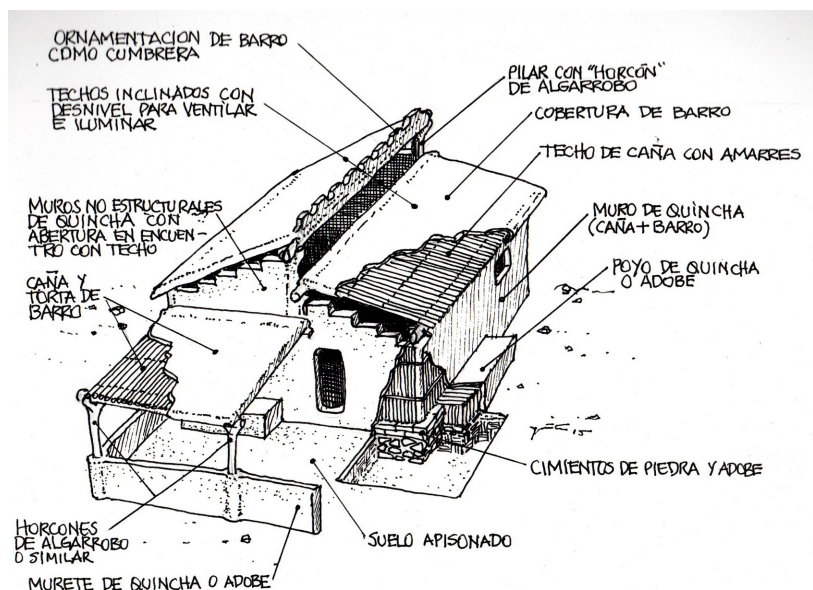


Figura 9. Estructura y materiales constructivos de los recintos. Gráfico de los autores.

CONCLUSIÓN

La evolución de los adobes y del sistema constructivo de montículos, evidencia un proceso tecnológico ligado a la disponibilidad de recursos en el entorno geográfico y el conocimiento.

La vivienda popular prehispánica en Lambayeque se ha mantenido como un tipo arquitectónico, hasta hoy en sus áreas rurales. Posiblemente debido a la pertinencia de la solución constructiva, que utiliza materiales del entorno inmediato y técnicas sencillas en armonía con el medio ambiente, resultando por ello sostenibles. Al tratarse de construcciones livianas y económicas, con techos inclinados soportados por horcones y vigas de algarrobo, con muros de quincha, se supone un insumo limitado de trabajo y recursos, que permite sin embargo preservar la vida de las personas en caso de sismos leves y moderados.

Los estudios sobre la historia de la construcción en el Perú constituyen una contribución para la construcción actual, pues su valor, tanto descriptivo como analítico, abre posibilidades de recuperación de tecnologías constructivas, ya que algunas de ellas mantienen su vigencia debido a su adecuación al medio geográfico y a los recursos materiales disponibles, como es el caso de la vivienda popular prehispánica, que atravesando los periodos colonial y republicano continúa vigente. Asimismo, estos estudios permiten obtener datos útiles para la solución de problemas en intervenciones al patrimonio edificado.

Es necesario dedicar investigaciones específicas destinadas al análisis geométrico, de materiales y de simulación estructural, para complementar y profundizar los conocimientos respecto al patrimonio edificado prehispánico en Lambayeque.

Bibliografía

- Alva, W. (2008). *Centros Ceremoniales Primigenios en Lambayeque: Ventarrón, Collud-Zarpan*. Unidad Ejecutora Naylamp. Lambayeque, Perú.
- Campana, C. (1983). *La Vivienda Mochica*. Varese S.A. 1ª Edición. Trujillo, Perú.
- Campana, C. (2000). *Tecnologías Constructivas de Tierra en la Costa Norte Prehispánica*. Instituto Nacional de Cultura-La Libertad, Perú.
- Canziani, J. (2009). *Ciudad y Territorio en los Andes: Contribuciones a la historia del urbanismo prehispánico*. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Chirinos, H. y Zárate, E. (2011). *Historia de la Construcción en Lambayeque*. Tesis para el Grado de Maestro-Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Pimentel, V. (2004). *Las viviendas mochicas de los valles de Moche y Santa, Costa Norte del Perú*. Departamento de Antropología - Universidad de Montreal. Canadá.
- Reindel, M. (1999). *Montañas en el desierto: la arquitectura monumental de la costa norte del Perú como reflejo de cambios sociales de las civilizaciones prehispánicas*. Boletín 63 de la Société Suisse des Américanistes, pp.137-148.
- Shimada, I., Elera, C. y Shimada, M. (1983). *Excavaciones Efectuadas en el Centro Ceremonial de Huaca Lucía- Cholope, del Horizonte Temprano, Batán Grande, Costa Norte del Perú: 1979-1981*. En *Arqueológicas* N°19, pp 109-208. Museo Nacional de Antropología y Arqueología. Lima, Perú.
- Shimada, I. (1994). *Pampa Grande and the Mochica Culture*. Austin: University of Texas Press, USA.
- GRL (2016). *Información Espacial*. En Gobierno Regional de Lambayeque. (En línea). <http://ot.regionlambayeque.gob.pe/datosespaciales>

Notas Biográficas de los Autores

Chirinos Cuadros, Haydeé. Arquitecta, Doctora en Arquitectura, Maestra en Tecnología de la Construcción. Consultora. Catedrática e Investigadora. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.

Zárate Aguinaga, Eduardo. Arquitecto, Doctor en Arquitectura, Maestro en Tecnología de la Construcción. Proyectista, Constructor, Catedrático e Investigador. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.



From past to present: building skill transfer in Tajikistan

Marta LORENZON, Chamsia SADOZAÏ

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

J JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

This paper investigates the persistence of earthen construction techniques in Central Asia from ancient to modern times with a pertinent case study from Tajikistan. The article describes modalities of skill transfer in relation to earthen architecture and tests a new multidisciplinary approach to investigate the persistence of building practices. Architecture, especially earthen architecture, is one category of material culture that has been relatively little explored from this perspective. Particularly relevant for this case study is the combination of ethnoarchaeology and architectural analysis used to examine skill transfer and relationships between social identities and architecture. On the basis of the comparison between archaeological and ethnographic data, it is possible to determine the process behind skill transfer, its connection to society and the complex relationship between the natural and built environment.

INTRODUCTION

Since the prehistoric period, earthen architecture has been used to build shelters for humans. During the 20th century, large-scale excavations taking place in Central Asia discovered urban and rural settlements where standing earthen architecture was well preserved. Most excavations showed complex settlements, often covered by millennia of soil stratification, giving the researchers the opportunity to investigate building materials as adobe in close comparison to the modern day usage (Reutova and Shirinov, 2004; Shroeder et al., 2003; Siméon, 2012; Tulaganov et al. 2005).

In this paper, earthen architecture - particularly skill transfer - is to be analysed as a significant tool, which helps define social roles (Egenter 1992; Miller 2007). Earthen architecture in monumental and non-monumental contexts requires a certain level of technique, acquired skills and organization (Minke 2000).

The study aims to investigate how earthen architecture helps to create social identities in Central Asia and how this correlates to the transfer of technological skills from ancient to modern time in the same geographical and socio-cultural context. Additionally, regarding any observed changes in architectural practices, this paper will try to point out the reasons for such a change.

While a multidisciplinary approach in studying earthen architecture is becoming more and more common (Aurenche, 1981; Love, 2013; Rosen, 1986; Sauvage, 1998), the niche topic of skill transfer and continuity of techniques have not been fully investigated in the Central Asian context.

1. ETHNOARCHAEOLOGICAL PERSPECTIVE

The combination of ethnoarchaeological and architectural analysis gives this study a new perspective and helps to understand the relationship between the natural and built environment, while investigating the continuity of construction techniques and their impact on Tajikistan society. Fodde (2009) wrote an analytical investigation of earthen architecture in Central Asia. Although it does not employ ethnoarchaeological analysis to investigate the permanence of such building techniques through time, the article was a first attempt to address the different building techniques existing in the area. The current paper aims at filling this gap using a specific case study, Sarazm/Avazali, in order to investigate the concept of skill transfer, persistence of building techniques and the role of the architectural process in creating identities in the past.

Ethnoarchaeology is the combination of ethnographic and archaeological studies, where present-days practices are investigated to shed light on the archaeological case studies (Aurenche, 2012; Correas-Amador, 2013; David and Kramer, 2001; Hodder, 1982). Aurenche's works (1981, 1996, 2012) in ethnoarchaeology helped to create a method of analysis widely employed in the Mediterranean and Near Eastern regions. His research could be briefly synthesised, presenting the most significant requirements for an effective ethnoarchaeological research, which are historical, geographical, and socio-economical continuity or comparability.

Material culture is particularly suitable at being analysed through ethnoarchaeology as rural villages and pre-industrial societies often present geographical and socio-cultural-economical continuity (Aurenche, 2013; Boivin, 2008; Picon, 1995).

A second aspect of this study is the interaction of natural and built environment. Earthen architecture in archaeological and ethnographical contexts is the final product of a complex synergy where different factors intermingle such as cultural influences, technological expertise, social structures and requirements. Manufacturing and construction techniques are deeply influenced by environment, culture and available technology. Thus environment, and particularly soil morphology, plays an important role in the operational chain. The natural resources available must also be analysed in relation to technological skills and socio-economical factors.

Then, there is a socio-cultural aspect, which aims at investigating how people from the same community interact together to build and create architecture.

Thus, the architectural process is linked to specific social roles inside communities and the concept of self-recognition, in which members of society attribute these roles to themselves, as a result of their skills inside the community and their relation to architecture (i.e. master-builder, carpenter) (Fodde, 2009:145-151; Jerome et al., 1999: 39-45).

Furthermore, the transfer and the acquisition of skills have a large impact on the socio-economical structure of small societies. The continuity of building forms and materials is the result of progressive transmission of the same knowledge through generations. The comparison between the archaeological, and ethnographic data aims at providing evidence of the skill transfer process inside pre-industrial communities. In earthen architecture, investigating adobe manufacturing, size, bricklaying techniques and recipes as well as building finish can easily verify the permanence of construction skills.

The case study currently discussed is located in Tajikistan, which has long tradition of earthen architecture both in ancient and modern times, and as a consequence happens to be one of the best geographical locations to operate this analysis. In this small project, ethnographic observations have been conducted on a specific site in the Zerafshan valley, Avazali, and then compared with the archaeological data from the nearby site of Sarazm (Fig 1).



Fig 1: Archaeological remains of Sarazm (Sector 11) and the village of Avazali, 2015. Photo : C. Sadozai

2. CASE STUDY

In the mountainous country of Tajikistan, the Zerafshan valley runs from the high Pamir chain down to the Samarkand plain. Few kilometers from the modern border between Tajikistan and Uzbekistan lies the Chalcolithic site of Sarazm, with an altitude of 900 m. above the sea level. Buried under cereal fields, the old city, now part of the World Heritage List, was discovered thanks to the uncommon artefacts found on the surface. Researches conducted by French and Tajik archaeologists in the 1980's (Besenval, 1987) revealed that this site was the first to attest agro-pastoral populations dating back to the 4th and the 3rd millenium BC. The city is located on the road of an important commercial network, famous for its mineral resources (metals and semi precious stones), and extended for 150 ha. The site presents many structures built in cob or bricks, sometimes with pebble foundations, and it has been possible to document four periods of occupation (ca 3500-2000 BC) (Lyonnet and Isakov, 1988). The architectural structures documented are: domestic dwellings, workshops, storages and monumental buildings probably with a religious or prestigious function (Besenval and Isakov, 1989; **Fig 2**). The modern village of Avazali is located close to the archaeological site and depends on agriculture for its economy.



Fig 2: Monumental building on three periods (Sector 12), Sarazm 2015. Photo : C. Sadozai

On the surface, Tajikistan does not seem a good case study for persistence of construction techniques and manufacturing processes, as certain technological changes (like the introduction of concrete) have affected vernacular architecture, however the context is more complex when properly investigated. A more in-depth analysis in Avazali and Sarazm showed some differences in manufacturing processes, but the investigation of construction techniques indicated practices that remained mostly unchanged between archaeological and ethnographic case study sites.

The data are based on macroscopic observation of standing archaeological structures, findings reported in published articles, discussions with the director of the archaeological reserve of Sarazm, interviews with the village builders and inhabitants, and analysis of modern buildings and of the operational chain employed in earthen architecture. The macroscopic examination detects some small regional differences in the manufacturing process, which are usually caused by environmental conditioning. The only relevant documented difference occurring in the comparison between archaeological and ethnographic material is the brick size and the type of vegetal temper. Archaeological evidence shows that only wheat straw was added during the manufacturing process (i.e. no evidence of rice in Splenger and Willcox, 2013) to avoid cracks and reinforce the clay mix, whereas nowadays rice glume (**Fig 3**) is used in addition to wheat straw. Once the mixing

is deemed adequate, the workmen produce adobe through the use of moulds. Thus, the present manufacturing techniques relies heavily on moulds, which can be compared favourably with the archaeological data



Fig 3: Detail of rice glume in pakhsa, Avazali 2012. Photo : D. Gandreau

The introduction of a new vegetal temper is linked to environmental conditions and yearly cultivations. Ethnographic research explains the use of rice glume as the type of opportunistic choices builders made to adapt to the local environment and changing agricultural practices.

These changes affect marginally the construction practices as the type of earthen construction such as brick and cob techniques (*pakhsa* in local language) are relatively consistent through time, both in ancient sites and in the modern villages.

As visible from the site of Avazali (**Fig 4**), the modern construction techniques include a water-resistant socle made of lined-up pebbles set in transversal courses or cement (**Fig 5**). On top of the socle bricks are laid in courses of alternate headers and stretchers. Alternatively, rows of hand-moulded cob are laid down to build up the wall.



Fig 4: Pebble socle, adobe and hand-molded cob, Avazali 2015. Photo : C. Sadozai



Fig 5: Concrete socle and bitumen fabric, Avazali 2015. Photo : C. Sadozai

The stone socle was not always present above the foundation in ancient times (Besenval, 1987; **Fig 1 and Fig 2**), but it can be easily explained as a technological improvement adopted to prevent base erosion and help in containing capillary humidity. Pebbles certainly come from the Zerafshan riverbed, which is close to the site. This selection shows evidence of past and present opportunistic raw source material procurement of stones as building material.

Fodde (2009:149-168) describe show, in Tajikistan society, craftsmen working on earthen architecture are organised and trained to achieve different levels during their career: apprentice, master and head master. The process helps in building social stratification and defines identities inside the same community. It also shows how manufacturing and construction techniques are considered precious knowledge, which are transmitted from master to apprentice and not subjected to external conditioning. The investigation in Avazali, though, highlights a different approach in earthen architecture skill transfer. The village inhabitants, who have a basic knowledge learnt from the masters of the nearby village of Penjikent, carried out all the construction work in relation to vernacular architecture. In Avazali, each person used the clay collected from the village as the main soil component for the bricks (**Fig 6**). There is no clay selection except for the barn roof, which is built with clays collected from a quarry 20km from the site, reputed to be water resistant (**Fig 7**). In this small rural community knowledge and skills acquired from the masters have been transferred from one male generation to the other with few adaptations regarding local raw source materials. As a consequence, the skill transfer between master and apprentice was not really observed in this village, where the inhabitants, whom we could define as semi-skilled, are the actual builders instead of skilled masons. The study observations can be summarised in the following table (**Fig 8**).



Fig 6: Raw source pit behind the being made house, Avazali 2015. Photo : C. Sadozai



Fig 7: Barn flat roof covered with a special clay, Avazali 2012. Photo : D. Gandreau

COMPARISON	Archaeological Data Sarazm	Ethnographic Data Avazali
Raw source	<ul style="list-style-type: none"> - Wheat straw temper. - River pebbles (certainly from Zerafshan river) used for the foundations of the last period (2700-2000 BC). - Soil not yet analysed. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rice glume temper or wheat straw. - Zerafshan pebbles. - Industrial cement. - Local soil from the surroundings (usually on the plot).
Brick Size	50x25x11 cm	Various, mainly 30x30x11 cm
Bricklaying Techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Adobe foundations except for the last period of occupation. - Medium adobe in courses of alternating headers and stretchers linked with soil mortar. - Evidences of cob (but no details in publication). - Rectangular and circular buildings. - Possibly flat earthen roofs (no proof of vaults) (Besenval and Isakov, 1989). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pebble stone socle set in transversal courses or concrete socle. - Adobe in courses of alternating headers and stretchers linked with soil mortar or large blocks of cob, or proper cob (pakhsa), or hand-molded cob. - Rectangular buildings. - Ridge roofs of corrugated metal sheets, sometimes flat for barns with a selected clay coat on top.

Fig 8: Comparison table of Archaeological and Ethnographic data in Sarazm/Avazali

3. DISCUSSION

There is a dichotomy in the Tajikistan case study as specific evidence simultaneously points to a change in manufacturing techniques, but continuity in construction practices. This reflects a strikingly different process of skill transfer between manufacturing and construction process and between rural areas and urban contexts. Some primary observations can be drawn:

- The hierarchical character of society heavily influences skill transfer in Tajikistan. Knowledge transfer is usually based on an apprenticeship structure or male communities in small rural villages where builders are not present all the time.
- The strict social roles have helped in maintaining, unaltered, the transfer of construction techniques, whereas the technological and socio-economical contexts have progressively changed, forcing some adaptations in the operational chain. Thus the adoption of new building materials has to be integrated with previous knowledge, rooted in society. The combination creates modifications in the traditional earthen architecture, such as the introduction of metal roofs or concrete socles.
- The manufacturing process presents a more complex picture, as traditionally there was no strict social role linked to the collection of raw material sources. As a consequence, the manufacturing methods of producing adobe, or cob, did not remain fixed through time, but are more flexible and adapt easily to the changing environment.
- Evidence of the afore mentioned changes is visible in raw materials adaptation (i.e. vegetal temper), where the variations are both environmental and technological, and clearly linked to the regional agricultural practices.

Generally the macroscopic analysis of the Tajikistan case study confirmed persistence through time of earthen architecture construction techniques.

4. CONCLUSION

A multidisciplinary approach is highly recommended in analysing the continuity of construction techniques. The current paper integrated ethnoarchaeology and architectural analysis in order to conduct a macroscopic study of the persistence of skills transfer in Central Asia. This emphasizes a link between construction techniques, skill transfer and the hierarchical structure of Tajikistan society.

This article aims to feature a new methodology in the analysis of skill transfer and tests its reliability to investigate the persistence of building practices. Tajikistan earthen architecture is an interesting and multifaceted topic that so far has been relatively little explored from this perspective.

The study shows how the continuity of building traditions emphasises an ingrained social component in earthen construction, which pertains to social identities. Knowledge is passed down from master to apprentice in more urban areas, but in rural villages, where there are no skilled builders, the knowledge acquired from the builders is passed down within the same family, or among the men in the community that qualify as semi-skilled workmen.

Furthermore, this research confirms the initial hypothesis, underlining a continuity of skill transfer and construction techniques in the study area, but also determines that part of the operational chain is subject to changes forced by environmental and technological factors. The reasons for these changes are mainly opportunistic, such as the direct link between the vegetal tempers used and the products cultivated in the region.

Future research should focus on integrating microscopic analysis in order to have a fuller dataset regarding earthen architecture. It would also be of value to compare the results with neighbouring geographical regions to see if a similar process of skill transfer is attested.

Finally, the integration of this study with geoarchaeology will widen the current body of research and allow the consolidation of comparative and multidisciplinary prospective in analyzing earthen architecture.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

Many thanks to the Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Science Academy of the Republic of Tajikistan and the director, Mr Z. I. Akramov. We would also like to thank the archaeological reserve of Sarazm and Penjikent, the director, Mr A. Razzokov and its team and finally all the people at CRATERRE-ENSAG laboratory.

BIBLIOGRAPHY

- Aurenche O.(1981). *La Maison orientale. L'Architecture du Proche-Orient ancien des origines au milieu du IVe millénaire*. IFAO, Collection Bibliothèque archéologique et historique.
- Aurenche, O. (1996). Famille, fortune, pouvoir et architecture domestique dans les villages du Proche Orient. In Veenhof, K. R. (ed.) *Houses and Households in Ancient Mesopotamia*, Layde, Istanbul, pp.1-16.
- Aurenche O. (2012). Trente ans d'ethnoarchéologie au Proche-Orient. Un bilan. In *Vous avez dit ethnoarchéologie ? Choix d'articles (1972-2007)*, Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean Pouilloux, Collection de la Maison de l'Orient méditerranéen, Série archéologique, Lyon, pp. 95-106.
url : [/web/ouvrages/home/prescript/article/mom_0244-5689_2012_ant_47_1_2179](http://web.ouvrages/home/prescript/article/mom_0244-5689_2012_ant_47_1_2179) Accessed on 09 September 2015
- Aurenche O. (2013). Qu'est ce que l'ethnoarchéologie ? ArchéOrient-Le Blog (Hypotheses.org), 6 septembre 2013.
url : <http://archeorient.hypotheses.org/1459> Accessed on 09 september 2015
- Besenal, R. (1987). Découvertes récentes à Sarazm (R.S.S. du Tadjikistan): attestation des relations au IIIe millénaire entre l'Asie centrale, l'Iran du Nord-Est et le Baluchistan. In *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 131^e année, N. 2, pp. 441-456.
- Besenal, R. and Isakov, A. (1989). Sarazm et les débuts du peuplement agricole dans la région de Samarkand. In *Arts Asiatiques*, tome 44, pp. 5-20.
- Boivin, N. (2008). *Material Cultures, Material Minds: The Role of Things in Human Thought, Society and Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Correas-Amador, M. (2013). *Ethnoarchaeology of Egyptian mudbrick houses: towards a holistic understanding of ancient Egyptian mudbrick houses*. PhD dissertation, University of Durham.
url : <http://etheses.dur.ac.uk/6916/> (Retrieved 01 September 2015)
- David, N. and Kramer, C. (2001). *Ethnoarchaeology in Action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Egenter, N.(1992). *The present relevance of the primitive in architecture*, Structura Mundi, Lausanne.
- Fodde, E.(2009). Traditional Earthen Building Techniques in Central Asia. In *International Journal of Architectural Heritage*, 3 (2), pp. 145-168.
- Hodder, I. (1982). *Symbols in Action: Ethnoarchaeological Studies of Material Culture*. Cambridge University Press, Cambridge.

Jerome, P., Chiari, G. and Borelli, C.(1999). The architecture of mud: construction and repair technology in the Hadhramaut region of Yemen. In *Association for Preservation Technology International Bulletin* 30, pp. 39–48.

Lyonnet B. and Isakov A. (1988).Céramiques de Sarazm (Tadjikistan, URSS): problèmes d'échanges et de peuplement à la fin du Chalcolithique et au début de l'Age du Bronze. In *Paléorient*, vol. 14, n°1, pp. 31-47.

Love, S.(2013). Architecture as Material Culture: Building Form and Materiality in the Pre-Pottery Neolithic Of Anatolia And Levant. In *Journal Of Anthropological Archaeology*, 32, pp. 746-758.

Miller, H. (2007). *Archaeological approaches to technology*. Elsevier/Academic Press, Amsterdam/London.

Minke, G. (2000).*Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture* WIT Press, Southampton/Boston.

Picon, M. (1995). Pour une relecture de la céramique romaine: caractéristique des argiles et des produits, techniques de fabrication, facteurs économiques et sociaux. In BAZZANA, A. and DELAIGUE, M.-C. (dir.) *Ethno-archéologie méditerranéenne. Finalités, démarches et résultats. Table ronde organisée par la Casa de Velazquez*, CCV 54, Madrid, pp. 141-158.

Reutova, M. and Shirinov T. (2004). Adobe Building Materials in Central Asia: Conservation of Archaeological Earthen Monuments. In *Lehm 2004, 4th International Conference on Building with Earth*, Dachverb and Lehme. V, Weimar.

Rosen, A. M.(1986). *Cities of Clay: The Geoarchaeology of Tells*. The University of Chicago Press, Chicago/London.

Sauvage, M. (1998).*La brique et sa mise en œuvre en Mésopotamie. Des origines à l'époque achéménide*, Centre de recherche d'archéologie orientale, Université de Paris I, n° 13.

Shroeder, H., Schwarz, S. A. and Tulaganov, B.A. (2003).Traditional Earthen Architecture in Uzbekistan – Evaluation of Earthquake Resistance and Strategies for Improvement. In *Terra 2003 Conference Preprints, 9th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture*, Ministry of Culture of Iran, Yazd.

Siméon, P. (2012). Hulbuk: Architecture And Material Culture Of The Capital Of The Banijurids In Central Asia (Ninth–Eleventh Centuries). In *Muqarnas*, Vol.29(1), pp.385-421.

Splenger, R. N. and Willcox, G. (2013). Archeobotanical results from Sarazm, Tajikistan, an early Bronze age settlement on the edge: Agriculture and exchange. In *Journal of Environment Archaeology*, vol. 18 n°3, pp. 211-221.

Tulaganov, A.,Kamilov, H., Kasimova, S. and Tulaganov, B. (2005). Housing Construction with Use of Clay Materials in Uzbekistan. In *Kerpic - Living in Earthen Cities*. Istanbul Technical University, Istanbul.

BIOGRAPHY

Marta Lorenzon is an archaeologist, currently pursuing her PhD at the University of Edinburgh. She graduated with a MA at the University of Florence and a Postgraduate Certificate in Historic Preservation from GSAAP, Columbia University. Since 2005 she has worked in the Mediterranean region, in the Americas and Asia with a research focus in earthen architecture.

Chamsia Sadozai is an archaeologist working since 2012 independently on earthen architecture preservation, mainly in Central Asia. She is associated to CRAterre-ENSAG Laboratory as a researcher in the Heritage Department.



Traditional Earthen Architecture in Northwestern Greece

Aineias OIKONOMOU

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The main aim of this paper is to present the design principles and analyse the constructional elements of the traditional adobe architecture in NW Greece. These buildings were mainly constructed by Macedonian master builders during the 18th and the 19th century, at a period when this area formed part of the Ottoman Empire. The objective of the overall analysis is to document the local traditional adobe construction systems in order to contribute to the restoration of this important architectural heritage.

The study is mainly based on a large-scale in-situ research, which included various field trips, and involved the detailed photographic recording of the remaining traditional buildings in 30 settlements. The research included the documentation of representative buildings in some of the settlements.

From all the above, the analysis of basic structural elements and different construction systems is derived. This analysis includes the presentation of three different traditional systems of building adobe walls (a. walls including wooden posts, b. walls with only horizontal wooden ties and c. light timber frame walls).

From the collected data, conclusions concerning the typology, the form, the construction techniques and the materials of the buildings are drawn. This leads to the formulation of a series of design principles, which characterised the architecture of the past and can be applied as guidelines for the restoration of existing buildings, as well as for the construction of new ones.

1. INTRODUCTION

The traditional architecture of every area is based on the accumulated experience and practice of many centuries and can constitute a continuous source of knowledge. The use of local materials and the harmonisation with the local environment and climate are some of the factors, which contribute to the distinct architectural identity of every area.

The architectural heritage of NW Greece preserves a great number of adobe and timber-frame houses built in the 18th and 19th centuries by Macedonian master builders, which can constitute a valuable lesson on design and construction.

Apart from the town of Florina where a vernacular adobe structural system exists, in the various villages of Florina and Prespa Lakes area, a great number of adobe buildings can still be found. Furthermore, the Korestia settlements in Kastoria area constitute a very important and well preserved complex of villages, where the houses are characterised by uniform typological, morphological and constructional features.

2. TRADITIONAL ADOBE ARCHITECTURE IN NORTH WESTERN GREECE

2.1. Methodology

The study is mainly based on a large-scale in-situ research, which included various field trips, and involved the detailed photographic recording of the remaining traditional adobe buildings in 30 settlements (the town of Florina and 11 villages around it, 5 in the Prespa Lakes, 2 around the town of Kastoria and 11 settlements of the Korestia) (Fig. 1). The research included the documentation of representative buildings in some of the settlements. From the collected data, conclusions concerning the typology, the form, the construction techniques and the materials of the buildings are drawn.

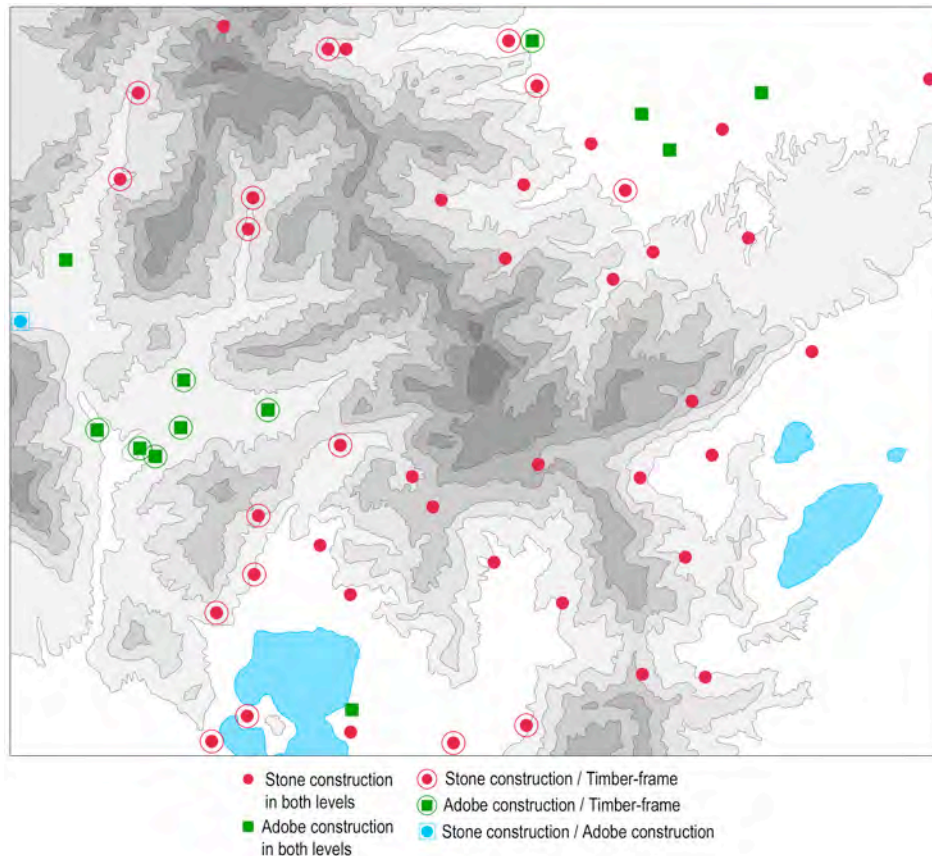


Fig. 1 - Map of the area representing the different building materials and construction systems.

2.2. Typological elements

The typology of the traditional houses of northern Greece is based on three basic elements: the private room (*oda*), the open space (*hayat*) and the closed, common space (*sofa*). (Eldem 1955; Kuban 1995) The private room (*oda*) is a closed living space with a square plan, which houses all the basic functions of the family life, such as eating, sleeping, and receiving guests. (Eldem 1955, pp.217-218; Kuban 1995, p.106) The *hayat* (or *loggia*) is a semi-open, transitional space, with a rectangular or square shape, which, sometimes extends between the rooms of the house in the form of an *eyvan* taking a T-shape. (Eldem 1955, p.219; Kuban 1995, p.137-138) Finally, the *sofa* is a closed, common space with rectangular shape used for circulation and/or social gatherings and events, similar to the hall of the Anglo-Saxon traditional house. (Eldem 1955, p.218) The three, afore-mentioned elements are combined in the plan and form three basic building types: the type with a *hayat* (outer *sofa*), the one with an inner *sofa* and the one with the central or cross-shaped *sofa*. (Eldem 1955, p.219; Kuban 1995; Gunay 1998, p.17)

In rural settlements of the Florina, Prespa Lakes and Korestia areas, the buildings have two storeys and the most predominant house type has two living spaces and a common, central, semi-open (inner *hayat*) or closed space (*sofa*) (Fig. 2). (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.505)

Other building types include the closed house with an inner *sofa* and four living spaces, and the rural, open *hayat* house, which has an outer semi-open space in front of two living spaces. In many cases, the *hayat* is partially or totally converted into closed space (Fig. 3). The type with the *hayat* was used mainly during the 19th century, whereas the types with the inner *sofa* were very common at the end of the 19th and during the first decades of the 20th century in the wider area. (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.505)



Fig. 2 - House with a sofa in Kranionas, Korestia.



Fig. 3 - House with an open hayat in Prasino, Korestia

After the Tanzimat reforms (1870), many European influences appear in the building plans, but mainly in the facades. These influences are introduced through Istanbul and also directly, because of the development of trade relations between the bourgeoisie of the various cities of the Balkans with other European countries. Thus, the type of hayat house was replaced by the type of symmetrical house with inner sofa, which is directly related to the typology of European residence with hall. (Oikonomou 2007, p.556-557)

The house types that are found in urban centres differ significantly from those in rural settlements, not only in their development through time, but also in their basic structure. The development of building types in the urban centres is parallel or later than this of the types in the villages, but it is not always linear and can be more intricate. We could talk about a synthetic design process, which is dictated by economic or spatial factors. The transition from simple to more complex types is achieved with the addition (multiplication) of spaces during the 18th and early 19th centuries (Kuban 1995, p.105). Nevertheless, during the second half of the 19th century, there are house plans, which derive from the reduction of the number of spaces - namely the subtraction of odas - from a closed, complete type, such as this of the house with the inner sofa (Fig. 4). (Oikonomou 2011, pp.772-773)

The master-builder proposes the application of the building type that is appropriate not only for the owners economic situation and needs, but also to the size of the plot, which, in urban centres, usually has a limited street front. These parameters lead to the adjustment of the basic model type with the subtraction of living spaces, and as a result variant types, which can be considered, for example, as the two thirds (2/3) of a complete and established type, occur. In other instances, the repetition of an element, such as the sofa, leads to larger, twin-type houses (Fig. 4). (Oikonomou 2007, p.231)

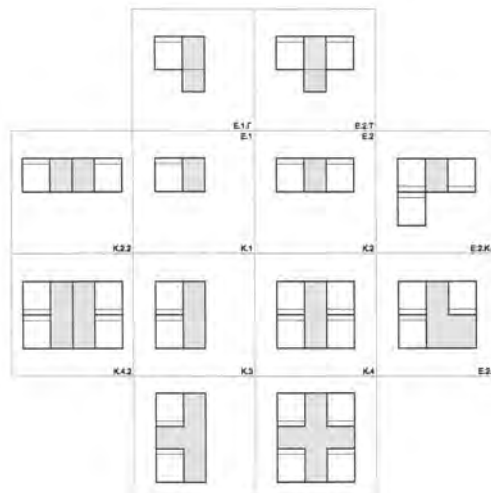


Fig. 4 - Typological considerations for the traditional houses of 19th century

2.3. Design and tracing

As proven by a relevant postdoctoral research (Oikonomou 2011), from older papers (Oikonomou & Dimitantou-Kremezi 2009; Oikonomou et al. 2009) and by a Ph.D. thesis (Oikonomou 2007), the design and tracing was based on specific metric models and almost always was performed using right triangles.

The design and construction of traditional houses in the 19th century was based on the *mimar arsin*, or architects cubit of 75.8 cm. The *arsin* is divided into 24 *parmak*, or fingers; the finger is divided into 12 *hatt*, or lines; and the line is divided into 12 *nokta*, or points (Cerazi 1988, p.92). The *arsin* is also divided into two equal parts called *kadem* (Ozdural 1998, p.113).

From earlier studies (Oikonomou 2007; Oikonomou 2011), it was seen that the *oda* usually has a square plan with dimensions 5x5 or 6x6 *arsin*. The sofa has a rectangular plan with its small dimension (width) equal to 3, 4, or 5 *arsin*. When the hall results from symmetrical repetition, its width is equal to 7 or 8 *arsin* (2x3.5 or 2x4). The sizes of the *oda* and sofa are usually combined, resulting in many different possible variations.

For the tracing of the rectangular perimeter of the house and its basic walls, the Pythagorean theorem with the basic right-angle 3-4-5, 5-12-13 and 8-15-17 triangles is applied with the use of knotted ropes. Stoichkov has proven that master builders in Bulgaria used the 3-4-5 and 5-12-13 triangles during the nineteenth century (Stoichkov 1977, pp.126, 145). The same methods certainly apply in Northern Greece during this period.

As an example, the Bochkaris residence, which is a three-storied house (two storeys and a mezzanine), built around 1910 in Ano Kranionas, Korestia, is presented (Fig. 5). Its building type is that with an inner sofa and two *eyvans* resulting in a T-shaped sofa. The dimensions of all the *odas* are 5x5 cubits, while the sofa and the *eyvans* have a width of 4 cubits. In all the above dimensions, the thickness of the walls is included. The tracing of the outline is based on the triangle 10.5-14-17.5 (transformation of the triangle 3-4-5). (Oikonomou et. al 2009, p.554)

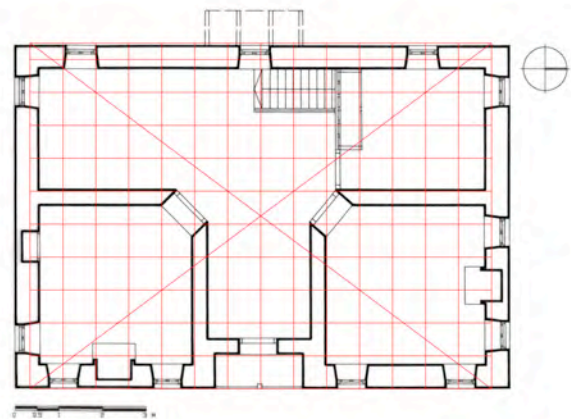


Fig. 5 - Bochkaris Residence in Ano Kranionas, Korestia. Upper storey plan.

2.4. Morphological elements

The basic morphological elements of traditional buildings are the projections (*sahnisi*) of the summer closed living spaces (*odas*) (Fig. 6) and the projections (*divanhane*) of the circulation space (*sofa*) (Fig. 7). These elements are found in both rural and urban buildings. (Oikonomou 2008, p.3)

Apart from that, the form of traditional house is defined by the shape and the number of windows on the main and secondary facades. (Oikonomou 2008, p.3) In most rural settlements, the house form is very simple and comprises two plain openings per elevation, in every living space. In some cases, specific morphological elements such a central projection of the inner sofa or a central, wooden balcony are seen, along with a central, small pediment. (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.506)

In the urban centres during the 18th century, the styles of the Tulip period and the Turkish Baroque are characterised by many small windows with shutters and separate upper course windows. (Gunay 1998, p.15) On the other hand, during the 19th century, the Empire Style dictates larger openings (proportion 1:2) with neoclassical decorative elements, without separate upper course windows. (Gunay 1998, p.15)



Fig. 6 - House with projections (*sahnisi*) in Kranionas, Korestia.



Fig. 7 - House with a projection of the central space and pediment in Antartiko, Prespes.

3. TRADITIONAL SYSTEMS OF ADOBE CONSTRUCTION

The analysis includes the presentation of three different traditional systems of building adobe walls. The first system is a local structural system that is used only in the town of Florina. The second one is characterised by the use of horizontal wooden ties and is used in the rural areas of Florina, Prespa Lakes and Kastoria, mainly in the ground floor walls. Finally, the third is the light-weight timber frame wall system, which is used in the walls of the upper storey, in all the Balkan areas.

3.1. The vernacular adobe structural system in the town of Florina

It should be noted that in Florina where a vernacular structural system exists (Fig. 8), the ground floor walls of increased thickness include vertical structural elements (*direk*) at regular intervals (4, 5, 6 or 7 arsin) that follow the structural module and correspond to the interior partition walls. On the upper storey, the *direk* are placed in the corners and the middle of every space (at 2, 2.5, 3 or 3.5 arsin intervals) (Fig. 9). The main reason for the development of this system is the fact that the construction material (local river stone) is relatively weak and the subsoil is unstable because of the river bed.



Fig. 8 - Rear façade of a 19th c. traditional house in Florina.

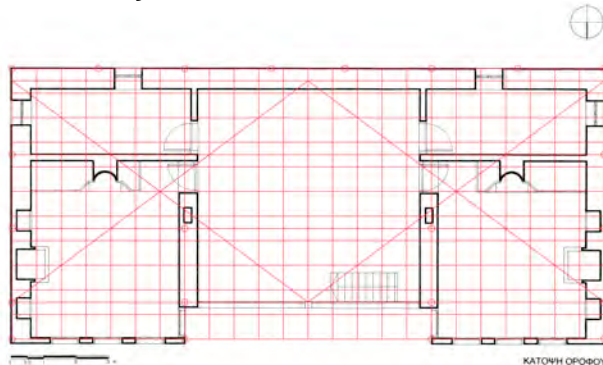


Fig. 9 - Upper storey plan of Rantzakis Mansion in Florina (19th c.)

3.2. The adobe construction in rural areas

In rural areas as the Prespa Lakes and the Korestia in Kastoria, the structural elements are usually thick walls made of adobe bricks. The walls are 57 to 75 cm thick (0.75 to 1 arsin), have an average height of 265 to 300 cm (3.5 to 4 arsin) and comprise horizontal structural wooden elements (ties) at intervals of 75 cm (1 arsin). (Oikonomou 2011, p.774) This construction is typical in most rural settlements. Depending on the time of construction, the wooden elements are visible, in the case of older buildings (19th century), or hidden, in the case of more recent ones (beginning of 20th century). (Oikonomou & Bougiatioti 2009, pp.506-507)

3.3. The light timber frame wall system

The light-weight walls of the upper storey (catma) have a small thickness (19 cm) and are formed by a complex timber frame, which is filled with adobe bricks and, in some cases, small stones or fired-clay bricks. (Fig. 10) The basic, vertical structural elements (direk) are positioned in the corners of the spaces and between the openings, at regular intervals of about 150 cm (2 arsin). In between, horizontal elements are placed at heights of 75 and 225 cm (1 and 3 arsin). This leads to the creation of large and small frames. In the former, openings with a width of 75 cm (1 arsin) are placed at regular intervals relative to the dimensions of the interior space. In the latter, smaller vertical elements are placed over and under the window. Finally, diagonal elements of triangulation are placed in all the frames in order to increase the rigidity of the structure. (Oikonomou 2011, pp.773-774) As Dogan Kuban stresses: it was like a box system where all the elements were integrated for the stability of the system (Kuban 1995, p.241)



Fig. 10 - Timber frame construction of a house in Alona, Florina area.

4. CONCLUSIONS - DESIGN GUIDELINES

4.1. General conclusions

From the above analysis general conclusions and design guidelines are derived. As far as the building typology is concerned, the conclusions point out issues of place and locality, but also issues of the peoples habits. The rural way of living during the 19th century led to the prevalence of building types with open hayats on the upper storey and storage rooms on the ground floor, which served for agricultural activities. At the end of the 19th and the beginning of the 20th century, the building types became more introvert, a fact which led to the construction of more compact buildings or to the modification of the existing ones. (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.508-509) The form of the oldest houses is characterised by a relative asymmetry (room-open space), whereas the latest examples have strictly symmetrical facades with tripartite organisation (room-hall-room).

In the different settlements, the materials vary depending mainly on their location (Fig. 1). In this way, rural buildings are constructed with adobe bricks in the plains and with local stone in the mountainous areas, whereas examples of mixed construction (stone or adobe walls in the ground floor and timbre frame walls filled with adobe bricks or covered by lath and plaster in the upper story) can also be found. (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.506)

The local materials and construction techniques (predominantly thick walls made of adobe) directly affect the form of the house. The windows in rural houses are less in number and smaller in size compared to the houses that are constructed during the same period in the urban centres of Florina and Kastoria, as well as in their nearby settlements. (Oikonomou & Bougiatioti 2009, p.509)

4.2. Design guidelines

The typology of new adobe buildings may follow the four basic types: house with hayat, two-room house with open sofa, two-room house with closed sofa, four-room house with inner sofa and variants (twin houses). The openings in the plan could have a metric relation of $a - a / 2$ to the wall between.

The form of new buildings may include projections of the central space or of the rooms. The openings could have specific ratios (1:2 - width to height) and their placement on the facades is characterised by a relationship of $a - 2a - a$, where a is equal to the windows width and the sill height, and $2a$ to its height.

The restoration of existing and the design and construction of new adobe buildings in the region could follow the traditional module of 75 cm. The module in most cases is equal to the width of the openings. Before the construction of the house, certain basic architectural tracing, which assumes basic knowledge of geometry, should take place. The rectangular outline can be easily traced with the use of right triangles. For this to happen, the rectangle must have specific ratios (3:2, 4:3, 8:3, 10:4 or 13:6).

The wooden elements (horizontal ties, diagonals, timber frame) are essential to the static design of the structure and must be restored accurately. The same goes for the wooden roofs that follow the simple post and lintel construction system.

The group of the thirty settlements which was analysed in this paper, forms a significant cultural heritage. The present research constitutes an attempt to document, analyse and evaluate the many aspects of their traditional architecture. Further research should include a photographic documentation of all traditional buildings in the settlements, a more detailed survey-documentation of all existing building types and a complete construction detail analysis of all three systems.

4.3. Final conclusion

Today, most of the traditional adobe buildings in NW Greece have been abandoned and gradually fall down and disappear. What is left of the important architectural history of this area should be safeguarded and preserved, not only for the present, but also for the future generations. It reveals the wisdom of the master builders, who used this local, natural material to create buildings with unique constructional characteristics. The documentation, description and analysis of these constructional systems can be very valuable for the restoration of the remaining adobe buildings, as well as for the construction of new ones. In no way is it suggested to copy the traditional building types, forms and materials into the present. What is apparent, though, is the need to integrate the elements and principles, which were outlined in this paper, into the contemporary architectural practice.

BIBLIOGRAPHY

Cerasi, M. (1988). Late-Ottoman Architects and Master Builders. *Muqarnas V: An Annual on Islamic Art and Architecture*. ed. O. Grabar. Leiden: E.J. Brill, pp. 87–102.

Eldem, S. H. (1955). *Türk Evi Plan Tipleri*. Istanbul: Istanbul Teknik Üniversitesi – Mimarlık Fakültesi, Pulhan Matbaası.

Gunay, R. (1998). *Tradition of the Turkish House and Safranbolu Houses*. Istanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Kuban, D. (1995). The Turkish Hayat House. Istanbul: T.C. Ziraat Bankası, MTR.

Oikonomou, A. (2007). *Comparative Investigation of the Architectural Structure and the Environmental Performance of 19th Century Traditional Houses in Florina*, Ph.D. thesis, Athens: National Technical University of Athens, School of Architecture.

Oikonomou, A. (2008). Bioclimatic elements and design principles of the traditional architecture in northern Greece, *Proc. PLEA 2008 - 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Dublin, Ireland.

Oikonomou, A. (2011). The Use of the Module, Metric Models and Triangular Tracing in the Traditional Architecture of Northern Greece. *Nexus Network Journal*, 13 (3), pp. 763–792.

- Oikonomou, A. & Bougiatioti F. (2009). Learning from the Past: Environmental aspects of the traditional settlements of Mt Verno, Greece, *Proc. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Quebec City, Canada, pp. 504-509.
- Oikonomou, A. and Dimitsantou-Kremezi A. (2009). Investigation of the Application of the Module in the Traditional Architecture of Florina. *Appropriate Interventions for the Safeguarding of Monuments and Historical Buildings. New Design Tendencies. Proceedings of the 3rd National Congress*. M. Dousi and P. Nikiforidis, eds. Thessaloniki: Ianos Publications (in Greek), pp. 309-318.
- Oikonomou, A. et al. (2009). Application of the Module and Construction Principles in the Traditional Architecture of Northern Greece. *Proc. LIVENARCH IV (RE/DE) Constructions in Architecture. 4th International Congress Liveable Environments and Architecture*. ed. S.O. Gur. Trabzon: Karadeniz Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, vol. 2., pp. 543-562.
- Ozdural, A. (1998). Sinans Arsin: A Survey of Ottoman Architectural Metrology, *Muqarnas XV: An Annual on the Visual Culture of the Islamic World*. ed. G. Necipoglu. Leiden: E.J. Brill, pp. 101-115.
- Stoichkov, J. (1977). *Za Arhitekturata na Koprivchitza (The Architecture of Koprivchitza)*, Sofia: Tehnika.

BRIEF BIOGRAPHICAL NOTICE

Aineias Oikonomou is an architect M.Sc., Ph.D.(2007) He was a post-doctoral researcher in the N.T.U.A. Laboratory of Architectural Form and Orders (2009 to 2010). He has published more than forty five scientific papers. Adjunct Lecturer in the Departments of Architecture, U.Patras and D.U.Th. (2008 to 2010), adjunct staff in Technical University of Crete. (2013 to 2014), adjunct in the H.O.U. (2014 -). He mainly works on restoration projects, has awards and participation in architectural competitions and exhibitions.



Construcción con tierra en la cuenca del Támega (Galicia)

Alejandro FERNÁNDEZ PALICIO

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

En la comarca de Verín-Monterrei, sur de Galicia y continuación natural de la comarca del Alto Tâmega portugués, existen vestigios de construcciones con tierra en tapia y tierra apilada, siendo no obstante la técnica principal los entramados de madera y barro denominados en gallego *tabiques de pallabarro*. Existe una variada tipología de viviendas urbanas en la ciudad de Verín y su entorno que se encuentra en riesgo de desaparición por la falta de valorización por parte de sus habitantes y el desconocimiento de los profesionales de la construcción.

Esta investigación independiente, comenzada hace 4 años, consistió en la identificación de la extensión, características y dimensiones de los sistemas constructivos difusos por el territorio; acompañados de entrevistas a sus moradores y el levantamiento de planimetrías.

La investigación quiere contribuir a la divulgación y conocimiento de las técnicas vernáculas en tierra de esta comarca. La estrategia para conseguir una construcción sostenible comienza en la divulgación de la riqueza de su arquitectura vernácula. Así, su conocimiento ayudará a definir principios aplicables en la arquitectura contemporánea de ámbito sostenible, permitiendo llenar la ausencia de referencias sobre la construcción en tierra que actualmente existe en las monografías sobre arquitectura vernácula gallega.

INTRODUCCIÓN

La comarca de Verín-Monterrei, sureste de Galicia, se sitúa en la parte final de la larga y estrecha cuenca sedimentaria del río Tâmega, con 5km de ancho y 20km de largo en su parte gallega, la cual siguiendo la falla tectónica de Régoa-Verín se extiende durante 100km por el territorio portugués del Alto Tâmega hasta desembocar en el río Duero.

Al norte y noroeste la comarca está dominada por los Montes do Invernadoiro (1000-1500m), que se prolongan en la Serra das Penas Libres (1061m), y ya en territorio portugués en las Serra de Pradela (1146m), Alvão (1283m) y Marão (1415m). Al oeste, una serie de mesetas de amplia extensión (800-900m) forman el zócalo de la Serra de Larouco (1398m), prolongándose al sur en la Serra de Barroso (1279m). (Bouhier, 2006).

Las similitudes entre las comarcas de Verín-Monterrei y Alto Tâmega son evidentes, constituyendo un área cultural homogénea, como han señalado diversos autores (Descamps, 1935; Jorge Dias, 1948; Ribeiro, 1949; Soeira de Brito, 1953; Freund, 1979 o Bouhier, 2006). Así, los habitantes de estas tierras levantaban sus construcciones con piedra granítica y entramados de madera y barro denominados en gallego *tabiques de pallabarro* en gallego y *tabique* en portugués con una importante variedad tipológica de vivienda urbana, en las ciudades de Verín y Chaves; y numerosos ejemplos de construcción rural en ambas comarcas. En este artículo nos centraremos en la comarca de Verín-Monterrei, donde también encontramos vestigios de la construcción con tapia en cerramientos de terrenos de cultivo y de tierra apilada en estructuras defensivas.

1 CONTEXTO GEOGRÁFICO

La depresión de Verín (14.652 habitantes en 2014 y centro de servicios del área) posee un espacio llano a 400m de altitud y pendientes menores del 5% con materiales sedimentarios de arenas y arcillas cuaternarias. Se encuentra bordeada por otra franja con altitudes de entre 300 y 600m con materiales no sedimentarios, granitos y esquistos

metamórficos. (Ledo Cabido, 2005). Sobre ésta se encuentra una primera plataforma a 700m de altura que domina el valle; y más altas, una serie de amplias mesetas aparecen en las zonas de montaña al nivel de 850m en la cuenca del río Bupal, principal afluente del Támega.



Fig. 1: Planimetría de asentamientos en el valle del Támega (1786)

Los asentamientos tradicionales se distribuyen por las mesetas situadas hasta 850m, que forman una red regular de pueblos de hábitat concentrado separados entre sí una media de 2,5km que van descendiendo hacia el valle. Estos poseían una importante organización comunitaria con numeras instituciones consuetudinarias, igual que ocurre en el Barroso portugués (Descamps, 1935). En la depresión, las viviendas suburbanas han roto la concentración tradicional de las viviendas, colonizando el espacio destinado otrora al cultivo y formando un aglomerado difuso característico actualmente en Galicia y Norte de Portugal.



Fig. 2: Ejemplo de estructura de un pueblo de la comarca (Bouhier, 2006).

El clima es oceánico con una importante componente mediterránea en las zonas bajas. Las precipitaciones son escasas con 693mm anuales, aumentando hasta 1810mm según nos elevamos. En el verano las precipitaciones son escasas. La temperatura media anual es de 12,9°C en el valle y de 9,1°C en la montaña. (Martínez & Pérez, 1997). El riesgo sísmico se valora según la NCSE-02 en VI-VII con una aceleración sísmica de 0,036 (IGN, 2002).

2 SOBRE ESTA INVESTIGACIÓN

2.1 Necesidad y urgencia de esta investigación.

En las monografías sobre arquitectura vernácula de Galicia únicamente se resalta la construcción en piedra como la vernácula de Galicia sin destacar que, en muchas áreas, las técnicas constructivas en tierra eran también muy destacadas y complementarias a ella. Éstas son poco conocidas por la población y por los profesionales de la construcción, siendo su uso en la arquitectura contemporánea prácticamente inexistente e incluso llegando a ser rechazado por creer que no sirven para el clima de Galicia.

Esta investigación quiere contribuir a la identificación y el conocimiento de estas casi desaparecidas técnicas vernáculas en tierra de Galicia, de modo que su conocimiento permita definir principios aplicables en la arquitectura contemporánea de ámbito sostenible.

2.2 Metodología.

La investigación es una iniciativa personal comenzada hace más de cuatro años en el marco de un estudio de la construcción en tierra en tierras gallegas. Su objetivo fue, en primer lugar, identificar la extensión geográfica del área de uso de las diferentes técnicas de tierra y las principales características y dimensiones de los sistemas constructivos encontrados. El trabajo de campo se recogió en un mapa con las construcciones encontradas. También se acompañó de una búsqueda bibliográfica y entrevistas a los moradores locales más ancianos.

3 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA CRUDA

3.1 Extensión geográfica e influencias.

La construcción con tierra en la comarca de Verín era habitual tanto en zonas bajas, donde la piedra era más escasa y la presencia de materiales sedimentarios numerosa, como en zonas de montaña donde la piedra era el material más abundante. No obstante, en toda la comarca encontramos construcciones realizadas con *tabiques de pallabarro*: entramados de madera recubiertos de revocos de barro, fibras naturales y cal, existiendo diferencias entre las edificaciones urbanas y las rurales, tanto en su tipología como en el mayor o menor uso de la técnica. Los muros de pallabarro podían ser estructurales o no y eran usados en cerramientos exteriores e interiores.

El área geográfica estudiada en Galicia es un área de transición entre la arquitectura gallega, zamorana y trasmontana (De Llano, 1996), continuación natural de la comarca portuguesa del Alto Tâmega, espacio donde numerosos autores han remarcado la presencia de construcciones con entramados llamados *tabique* en portugués. (AAP, 1998; Branco Cepeda, 2009; Martinho et al. 2010; Pinto et al. 2010), y que también presenta similitudes con otras áreas de Tras-os-Montes limítrofes con Zamora (Jorge Días, 1953). Así mismo nosotros remarcamos las similitudes existentes entre las tipologías recogidas en la ciudad de Verín y las existentes en la Región Centro portuguesa, situada más al sur (Dão-Lafões, Cova da Beira).

En las zonas bajas de la comarca encontramos indicios de elementos y construcciones realizadas en tapia y tierra apilada.

3.2 La Tapia: ¿Una técnica desaparecida?

A pesar de no hallarse actualmente restos de muros de tapia ni de construcciones, sí se ha encontrado el microtopónimo “*As Tapias*”, en un área que hoy ha sido totalmente reconfigurada debido a una concentración parcelaria. Los moradores actuales desconocen su conformación anterior pero por su localización entre Monterrei y Albarellos en una zona con una tierra adecuada a la técnica y escasa presencia de piedra nos permite preguntarnos si esta técnica sería conocida en la comarca y utilizada, al menos, en cerramientos de las áreas de cultivo. Estaría, no obstante, lejos del desarrollo alcanzado desde la edad media en la cercana comarca de Terra de Lemos (Fernández Palicio, 2012) ya que, a pesar de que las posiciones de las villas de Verín y Monforte de Lemos son similares en el medio de extensas depresiones sedimentarias, la extensión de la depresión de Verín resulta más reducida y el acarreamiento de piedra más factible que en Lemos.

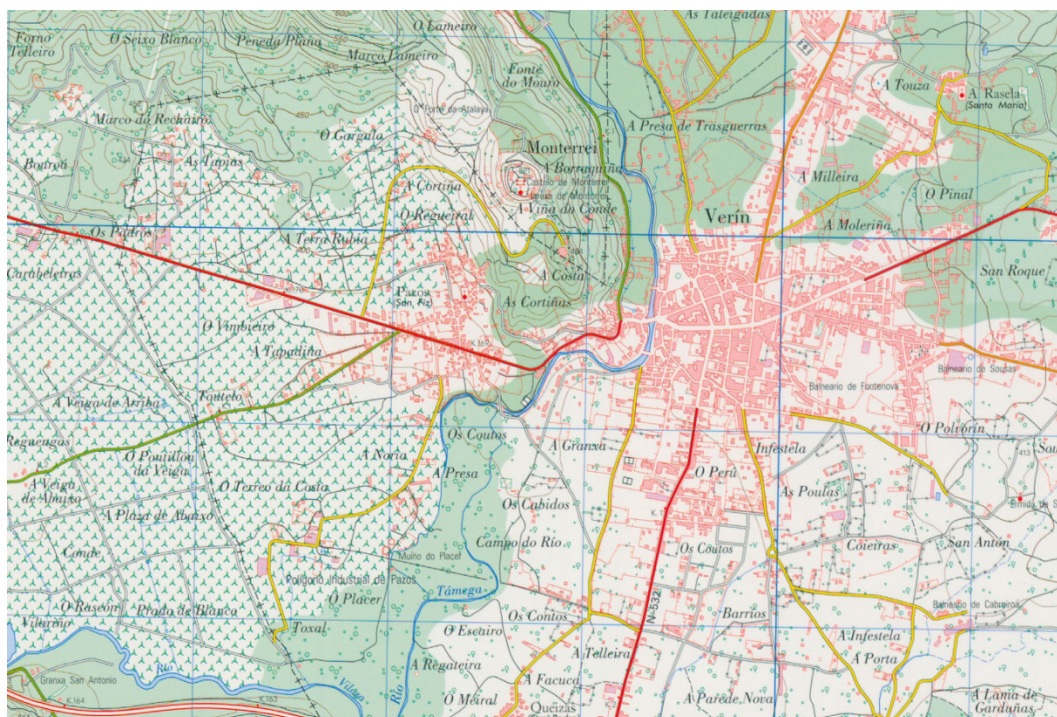


Fig 3: Mapa topográfico del IGN donde se aprecia el topónimo de As Tapias.

3.3 Tierra apilada en construcciones militares.

Verín y Monterrei, por su situación geográfica como enclave de paso se convirtieron en importantes plazas militares con ocasión de la guerra de Restauración (1640-1668). Así se construyeron o reforzaron la murallas de Verín, “*un Rezinto de tierra del qual quedan solo vestigios*” (Rodríguez-Villasante, 1984) con baluartes “*en piedra menuda y suave*” con “*terraplén detrás de la fábrica*” (Taboada Chivite, 1949); y del Castillo de Monterrei, el cual contaba con “*varias defensas realizas en tierra*” (Blanco-Rotea et alt, 2008)

La tierra sería pues un material importante para la edificación en una zona de poca abundancia de piedra, unida a la evolución de la técnica de las murallas defensivas debido a la aparición de la artillería. (Rodríguez-Villasante, 1984). A pesar de que las murallas con tierra de Verín no se conservan, otras fortalezas contemporáneas en la frontera galego-portuguesa del río Miño todavía existentes utilizaron la técnica de la tierra apilada (VVAA, 2006), por lo que podemos suponer que la técnica podría ser similar, dada la contemporaneidad de las mismas.

3.4. Morteros de barro

La vivienda tradicional de esta área estaba realizada, en su mayoría, con mampostería de granito realizada en seco, recibada en las juntas con mortero de barro, el cual se recubría aún seco con una lechada de cal (Lorenzo Fernández, 2004). Cuando la fábrica era más irregular el papel del barro adquiría una importancia mayor, añadiendo a la función de impermeabilización del recebado, la del asentamiento de los diferentes cachotes, principalmente en las áreas de esquistos.

3.5 Muros de pallabarro en las viviendas urbanas de Verín.

Verín posee una arquitectura de entramados de madera similar a la que existió en otras villas y ciudades del sur de Galicia como Ourense o Ribadavia y que proviene de una

larga tradición europea que se remonta a la Edad Media (López Carreira, 1991). Aunque ya existían sistemas de entramados recubiertos de barro en Galicia en los poblados *castrexos* anteriores a la llegada de la cultura romana (Arias Vilas et al. 2003) no debería tratarse suponemos de una misma tradición constructiva.

El *entramado de pallabarro* está construido sobre un armazón vertical de madera formada por tablas de 10 a 20 centímetros de ancho por 3-4 de grosor llamadas *fitoiras* o cangos. Las *fitoiras* se unen entre sí con tablillas más estrechas y delgadas, los *bitoques*, que se ensamblan horizontal y oblicuamente. Los espacios entre *fitoiras* se rellenan de un trenzado de paja amasado con barro, las *lampreas* o *mangados* de paja, que se entrelazan entre los *bitoques*. Las dos caras de la pared se reciben con mortero de barro y se blanquean con cal (Lorenzo et al. 1936).



Figura 4: Detalle de un entramado de pallabarro.

La construcción con *muros de pallabarro* comenzó a decaer a finales del siglo XIX y principios del XX (Otero Pedrayo, 2001) propiciada por el auge de una burguesía que consideraba el entramado de madera símbolo de pobreza. En un principio esta sustitución fue únicamente de orden estética, ocultando la construcción de entramado de madera mediante la construcción de una nueva fachada pero conservando la construcción los *muros de pallabarro* en sus paredes laterales y traseras del mismo modo que aún hoy sucede en las construcciones de tapia en Monforte de Lemos (Fernández Palicio, 2014).



Figura 5: Vivienda de entramado con fachada de piedra ocultando su estructura.

La construcción de entramados decayó finalmente con la consolidación de la industria del ladrillo a partir de los años 20 del siglo XX (Carmona et al, 2005).

En función de su grado de evolución urbana, podemos encontrar al menos dos tipologías diferenciadas de viviendas urbanas con entramados que actualmente se conservan en muy mal estado:



Figura 6: Vivienda con vuelo de tipo medieval.

- Tipo 1. Vivienda de tipo medieval.

Se corresponde en gran medida con las descripciones que podemos encontrar sobre la vivienda medieval urbana en Galicia (López Carreira, 1991) aunque también posea elementos de la vivienda tradicional rural meridional. Posee una planta baja que sirve de corte y bodega, realizada en mampostería de granito. La primera planta, que sirve ya de vivienda, puede ser de mampostería de granito o ser de entramado (si esta es la última planta), sino posee un nivel más. La estructura de *pallabarro* vuela sobre el muro de

piedra apenas 50cm y va caleada en fachada. Normalmente posee un corredor para secado de productos agrícolas.

Posee una escalera exterior para el acceso a la primera planta que puede ir más o menos cerrada, igual que en las viviendas rurales meridionales de Galicia.



Figura 7: Entramado de pallabarro en la vivienda de tipo urbano.

- Tipo 2. Vivienda tipo urbano.

Vivienda de construcción adosada, con un frente con corredor o galería. La planta baja es de mampostería de granito y la superior de entramado de pallabarro con corredor y/o galería. Es un tipo de vivienda habitual en Galicia, presente en numerosas localidades urbanas, con igual configuración aunque los materiales que la forman varíen (Monforte de Lemos, A Gudiña, Xinzo de Limia)



Figura 8: Configuración de calle en la vivienda de tipo urbano.



Figura 9: Detalle del entramado de madera para la formación del pincho de cubierta.

3.6. La vivienda rural.

La casa-vivienda rural de la comarca de Verín-Monterrei posee características similares a las de las comarcas zamoranas de Sanabria, Carballeda o Cabrera (Talesian, 2006) y de buena parte de Tras-os-Montes, sin que pierda valores de la arquitectura gallega, de ahí que algunos autores la consideren como una tipología de transición (De Llano, 1996).

La vivienda tradicional está compuesta de dos pisos, con muros de mampostería de granito en seco sellados con un encintando de barro y cal, con tejado de teja a 2 y 3 aguas que se prolonga para cubrir el corredor (De Llano, 1996). No hace demasiadas décadas, en los años 60, estas cubiertas eran mayoritariamente de colmo (Bouhier, 2006). Los corredores se forman por la prolongación de las vigas del forjado y cubierta dando identidad a estas viviendas. La pared del fondo del corredor suele ser más delgada que los muros de carga del resto del perímetro de la casa realizándose con *tabiques de pallabarro*. El corredor también va cubierto, con entablados, estando más o menos descubierto en función de la dureza climatológica del área (Rodríguez Romero, 2000). También en algunas ocasiones el paramento exterior completo del primer piso puede ir realizado en *pallabarro* (Caamaño, 2004). Además las campanas de las chimeneas interiores de estas viviendas, de forma cónica, y situadas sobre los hogares, se realizan tradicionalmente con un *entramado de pallabarro* o con barrotes y cal.

Desde comienzos del siglo XX los muros de pallabarro fueron substituídos por nuevos materiales industriales, particularmente ladrillo tomado con cemento, lo que supuso el fin de la técnica.



Figura 10: Vivienda en Castrelo do Val (Ledo Cabido, 2005).

CONCLUSIONES

La estrategia para conseguir una construcción sostenible contemporánea comienza en la divulgación de la riqueza de sus soluciones adaptativas y la variedad de su arquitectura vernácula, la cual respondía a una lógica y a unas estrategias sobre las que debemos reflexionar. Así, la arquitectura contemporánea sostenible debe mirar hoy a la tierra como material apropiado para el futuro: renovable, saludable y ecológico. Para ello es necesario tomar como base los principios sobre los que se asentaba la arquitectura vernácula.

Esta investigación contribuye pues a la identificación y al conocimiento de estas casi desaparecidas técnicas vernáculas en tierra de Galicia, de modo que su conocimiento permita valorar la riqueza y variedad de nuestro patrimonio así como para poder definir principios aplicables en la arquitectura contemporánea de ámbito sostenible.

La desaparición de los *entramados de pallabarro* y de otras técnicas en tierra nos ha impedido conocer por el momento la evolución técnica que podrían tener con la tecnología actual. Ahora es el momento de realizarlas, tomando como modelo las estrategias del patrimonio vernáculo, manteniendo criterios de obtención, transformación y producción local de los materiales; y posibilitando una evolución de las formas de la arquitectura que se integre en el paisaje cultural existente.

BIBLIOGRAFÍA

- AAP. (1988). *Arquitectura popular en Portugal*, AAP, Lisboa.
- Arias Vilas, F. y Ramil González, E. (2003). *Informe preliminar dos traballos arqueolóxicos realizados no Castro de Viladonga*, E-Castrexo.
- Blanco-Rotea, R. (2008) *Análisis y recuperación de un paisaje urbano fortificado en la villa de Verín*. En *Arqueología de la arquitectura*, 5.
- Branco Cepeda, AJ. (2008). *Construções de tabique existentes na associação de municípios do Alto Tâmega*, Vila-Real.
- Bouhier, A. (2006). Galicia: *Ensaioxeográfico de análise e interpretación dun vello complexo agrario*, CAGM, Compostela.
- Caamaño, M. (2003). *As construcións da arquitectura popular: patrimonio etnográfico de Galicia*, Hércules, A Coruña.
- Carmona, X y Nadal, X. (2005). *El empeño industrial de Galicia. 250 años de historia (1750-2000)*, PBM, A Coruña.
- De Llano, P. (1996). *Arquitectura popular en Galicia. Razón e construción*, COAG, Compostela.
- Descamps, P. (1935). *Le Portugal. La vie sociale actuelle*, Librairie Firmin Didot, Paris.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma
- Fernández Palicio, A. (2012). *Earthen architecture in Galicia (Spain): Rammed earth in Terra de Lemos*. In *Rammed Earth Conservation*, Taylor&Francis, London.
- Freund, B. (1953). *Siedlungs und Agrargeographische Studien in der Terra de Barroso, NordPortugal*, Frankfurter Geographische Hefte.
- IGN. (1940). *Mapas topográficos de Verín, Oimbra y Feces de Abaixo*, Madrid
- Instituto Geológico Nacional. (2002). *Mapas de peligrosidad sísmica de España*, Madrid
- Jorge Dias, A. (1949). *Vilarinho da Furna, uma aldeia comunitaria*. In *revista de dialectología y tradiciones populares*, Tomo V.
- Jorge Dias, A. (1954). *Rio de Onor. Comunitarismo agro-pastoril*. Centro de estudos de Etnologia peninsular, Porto.
- López Carreira, A. (1991). *Ourense no século XV: economía e sociedade urbana Baixa Idade Media*, Xerais, Vigo.
- Lorenzo Fernández, X y otros. (1936). *Parroquia de Velle*. SEG, Compostela.
- Martínez, A y Pérez, A. (1999). *Atlas climático de Galicia*. Xunta de Galicia.
- Martinho, J. (2011). *Tabique constructions in the municipalities association of Terra Fria do nordeste transmontano*. In *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura*, Valladolid.
- Pinto, (2010). *Study Of The Traditional Tabique Constructions In The Alto Tâmega Region*. In *The Sustainable World*, Wessex Institute of Technology, UK.

Pedrayo, O. (2001). *La voz de Otero*, Raigame, Ourense.

Ribeiro, O. (1940). *Villages et communautés rurales au Portugal*. Bulletin de l'Association de géographes française.

Rodríguez, E. (2000). *Sistemas de entramado de madera de los siglos XVIII y XIX en el sur de Galicia*. En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Granada.

Rodríguez Villasante, JA. (1984). *Las defensas de Galicia*. Edicións do Castro, Sada.

Rueda, J (2001). *Sismicidad, Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Galicia*, IGN. no35.

Soeiro de Brito, R. (1953). *Una aldeia de montanha no Minho: O Soajo*. Estudo de Geografía Humana, Lisboa.

Taboada Chivite, J. (1949). *Verín y sus murallas*. En *Boletín de la Comisión de Monumentos de Orense*, Tomo XVII, 1.

Talesian. (2006). www.reinolvidado.blogspot.com.es

VVAA. (2006). *Descubrir a historia Plan director das fortalezas transfronteirizas do Baixo Miño*. Xunta de Galicia, Compostela.

BIOGRAFÍA

Alejandro Fernandez Palicio es arquitecto e investigador independiente fundador del *Laboratorio de tecnoloxia/s apropiada/s* www.tecnoloxiasapropiadas.wordpress.com donde desarrolla trabajos e investigaciones sobre patrimonio, construcción sostenible, urbanismo participativo, agricultura y sobre innovación a partir del conocimiento vernáculo.



Management of Louisiana's historic *bousillage* buildings

Dorothy MCLAUGHLIN, Paul ADDERLEY, Craig KENNEDY, Alick LESLIE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

In the south eastern United States of America and particularly in Louisiana, a distinct form of colombage construction - *Bousillage* - is found. This earth construction method uses 'loaves' or 'cats' of earth applied over cedar wood battens. A highly distinctive characteristic of the method is the incorporation into the earth mixture of an indigenous epiphyte plant called Spanish Moss (*Tillandsia usneoides*) following the harvesting and a lengthy pre-treatment of this plant fibre. Today, over 140 years since these heritage buildings were constructed, these *bousillage* structures are subject to repeated repair. A range of repair management practices is found reflecting both the broad range of ownership and the range of heritage protection designations applied to these buildings. Focusing upon the contrast between repair materials and historical materials micromorphology analysis and near-infra red spectroscopy this study reveals clear differences in the organic components found in modern repair materials. Whilst the repair methods presently used on *bousillage* follow historical and ethnographically recorded practices, there are significant differences in the use of Spanish Moss. This raises concerns that there may be changes in the performance of the building structure in the long-term.

1 INTRODUCTION

Louisiana saw many political and land-use changes across the 18th and 19th Centuries. These encompassed the famous Louisiana Purchase and the many social issues relating to the development of plantation agriculture including the use of bonded labour and the movement of peoples into this region. This setting saw the adoption and incorporation of many different building practices including the development of *bousillage*, a specialised method of earth construction. The *bousillage* construction method (Fig. 1) utilizes a mix of soil/clay, lime, animal hair and the use of cured Spanish moss. To remove the outer fibrous sheath of Spanish moss in order to reveal the useable inner material involves a lengthy process including burial of the raw material for several months.

Today, a range of buildings constructed using this method remain. Many are located in the Cane River National Heritage Area and the region immediately surrounding the city of Natchitoches (Fig.2). These buildings are under the administration of the National Parks Service, various private individuals and several non-profit bodies. Whilst sourcing and provenancing suitable materials for repair is a common issue in heritage management, the use of Spanish moss in *bousillage* constructions presents a unique set of management problems. First there is a scarcity of Spanish moss material, a shortage attributed to changed climate and changed growing conditions in the region; second, this material requires lengthy preparation. Today, limitations on the quantity of binder available to be incorporated and potential changes in the nature of the Spanish moss-derived binder used, need to be managed in the context of heritage repairs made to buildings in this area. Examining the contrast between materials used for repairs and for the original constructions through chemical and physical analyses on a range of buildings enables conclusions to be drawn in respect of the building performance and management. In this paper we use micromorphology and near-infra red (NIR) analyses, respectively, to examine the micro-spatial arrangement of the earth building components (i.e. clay-rich soil, sand, Spanish moss) and the differences in their chemical compositions.



Figure 1. Damaged bousillage construction at the Pigeonnier, Oakland Plantation, Louisiana.

2 METHODS AND MATERIALS

The study area extends across a variety of *bousillage* constructions in central Louisiana (Fig. 1; Fig.2) with buildings at Tauzin-Wells in Natchitoches, Cedar Bend Plantation, Oakland Plantation, Melrose Plantation, Magnolia Plantation and at Badin-Roque House. Presently these buildings are in a mixture of private and public body ownerships and hence subject to a variety of management practices. These variations allow a richly contrasted study to be developed between historical materials and repaired structures. Among other methods, micromorphology techniques have been applied to allow subtle distinctions between repair matrices to be examined (Adderley et al. 2016; Parkin et al. 2013). Near Infra-red analyses allows both *in situ* and *ex situ* examination of earth-building materials and has previously been demonstrated to resolve differences in earth/organic binder ratios (Parkin et al. 2013).

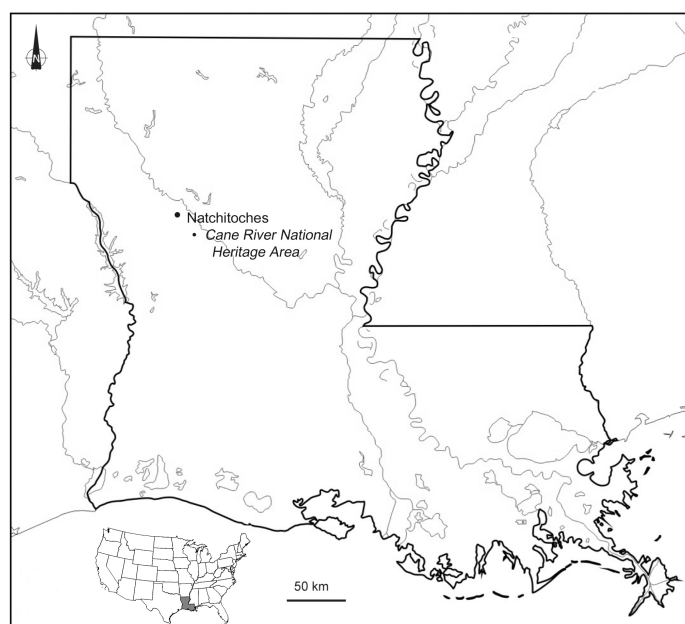


Figure 2. Map of study site locations with details of their construction types.

The Tauzin-Wells House is understood to be the oldest historical building in Natchitoches (Fig. 3A) dating from 1776. Badin-Roque House was constructed using an early Creole building style poteaux-en-terre (Fig. 3B) where the upright wooden component of the building is placed directed into the ground rather than on a wooden or stone plinth. The west Pigeonnier and the Overseer's House, Oakland Plantation are constructed on raised wooden plinths and are classified as being poteaux-sur-sol (Fig. 3C & 3D).



Figure 3. A large variety of Louisiana property types are constructed using bousillage.

3 MICROMORPHOLOGY

3.1 Sample preparation

Collected samples were processed in the Thin Section Micromorphology laboratory at the University of Stirling (Adderley et al. 2002; Murphy, 1985) to produce 30 μm thin-sections. These were analysed using an Olympus BX-50 petrological microscope at a range of magnifications (x 10 – x 400) and with several different light sources; plane polarised light (PPL), crossed polarised light (XPL) and oblique incident light (OIL) and described using a modified version of the International System (Bullock et al. 1985; Stoops 2003). These techniques allow for the identification of different features; mineral, organic components, peds, voids and pedofeatures. The coarse/fine (c/f) differentiation was 50 μm with any components less than this being classed as fine material.

3.2 Micromorphology characterisations

3.2.1 Cedar Bend Plantation House

Cedar Bend Plantation House is a 19th century French colonial style house. It is composed of two central rooms surrounded by smaller room and a front porch facing Cane River Lake. Samples were collected from the basement area and one of the rooms at the north east of the property. These were original materials dating to the construction of the house.

The thin section micromorphology analysis showed a dotted limpidity and crystalline birefringence when using XPL with a c/f - related distribution pattern that is defined as fine monic (Fig. 4, gm). The coarse mineral material was dominated by sub-angular quartz (80%) (< 50 – 50 µm). The coarse organic component was composed of lignified plant tissue which was lenticular and globular in character and partially weathered (7%) (50 – 2500 µm) (Fig. 4,pt). The structure was composed of large and blocky peds (60%) which were randomly distributed and orientated.

The voids were both channel voids and regular vughs (Fig. 4,cv and v). Pedofeatures included anorthic typic nodules, excremental features associated with plant tissue and inclusion of fine material that was determined to be Spanish moss (Fig. 4, B & B1, sm)

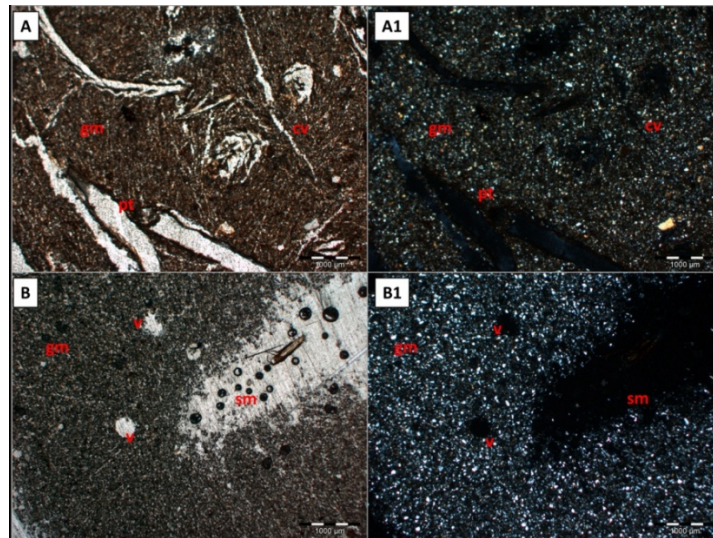


Figure 4. Micromorphological images from Cedar Bend Plantation house, Louisiana.

3.2.2 Main House and Cook's House at Oakland Plantation

Oakland Plantation is a property originally built in the late 18th Century by the Prudhomme family. It is now managed by the National Park Service as part of the Cane River Creole National Historical Park. Along with the Main House there are twenty seven extant outbuildings. This analysis will focus on original *bousillage* material from Main House and repair material from Cook's House.

This sample exhibited dotted limpidity and crystalline birefringence (XPL) with a fine monic c/f - related distribution pattern which was randomly distributed and orientated (Fig. 5, gm). The coarse materials were sub-angular quartz grains (70%) (<50 – 50 µm) and partially weathered fibrous plant tissue (15%) (50 – 5500 µm) (Fig 5, pt). There was no observable ped structure determining it to be weakly developed with no separation. The voids were unaccommodated channel voids along with regular vughs (Fig.5,A & A1, v) (20%, <50 – 5000 µm) which were randomly distributed and orientated. The pedofeatures in this sample included redoximorphic anorthic typic nodules (< 50 – 1500 µm) red/ brown in colour along with black amorphous typic nodules (<50 – 50 µm) both of which were within the matrix of the thin section sample. Black spherical excremental pedofeatures (trace) were observed associated with plant tissue (< 50 µm) along with fungal sclerotia (2%) (<50 – 500 µm) (Fig. 5,A & A1, pt).

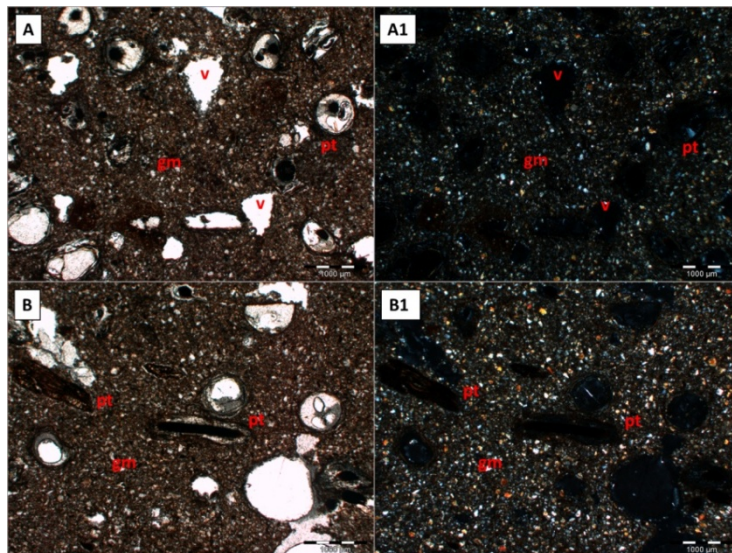


Figure 5. Historical samples from Main House at Oakland Plantation, Louisiana

The sample from Cook's House showed a dotted appearance under PPL and speckled birefringence using XPL with a porphyric *c/f* - related distribution pattern. The coarse mineral material was composed of sub-angular partially weathered quartz grain fragments (50%) (<50 – 250 μm) (Fig. 6, gm). The coarse organic material showed a trace amount of partially weathered black smooth rounded spherical plant tissue (200 x 300 μm and 750 x 1000 μm) (Fig. 6, A & A1, pt). There was also a single example of lignified plant tissue which was partially weathered and fibrous (250 x 1750 μm) (Fig. 6, B & B1, pt). There was no distinct pedal structure observed. The voids were partially accommodated planar voids and regular vughs (2%), they were randomly distributed and orientated with the largest being 1750 x 2500 μm. Redoximorphic anorthic typic nodules (Fig. 6, rn) were observed (30%) (<50 – 600 μm) and clay coating fragment colloids (Fig. 6, ccf) were found randomly distributed within the matrix (20%). The repair sample also included synthetic reinforcement fibre within the mix (Fig. 6, srf)

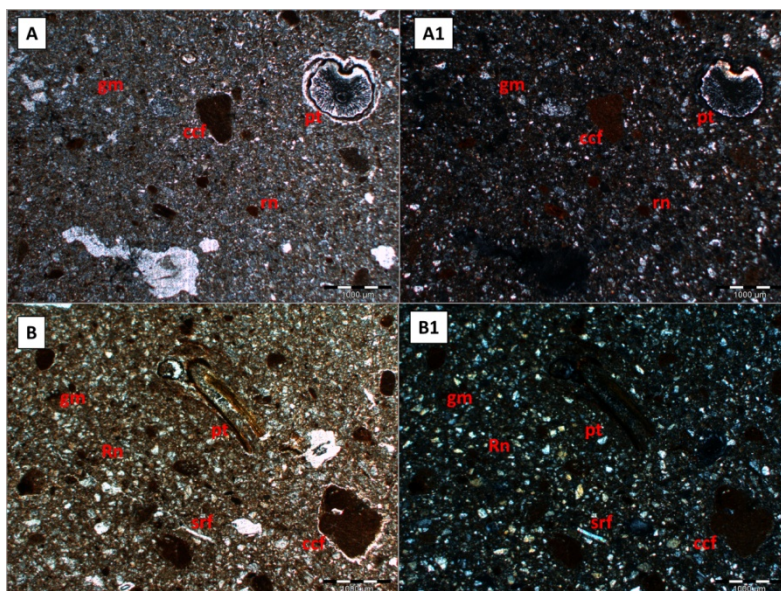


Figure 6. Images from repair undertaken at Cook's House, Oakland.

3.3 Micromorphological interpretations

The inorganic components of the *bousillage* composition differed markedly between the historical materials and the repairs. While the coarse material in all samples contained sub-angular quartz, the repair material exhibited larger fragments. The fineness of the quartz material in the historical materials gave these section an overall grey colour (PPL) due to the lack of organic material and the nature of the groundmass. The dotted limpidity of these samples would also suggest the presence of fine silt-size particles. The historical samples showed crystallitic birefringence in XPL illumination which is associated with the presence of fine mineral grains. In contrast, the repair materials exhibited a speckled birefringence associated with a random arrangement of the clay material. This resulted in difference observed in the *c/f* – related distribution patterns which were fine monic type in the historical samples and a coarser porphyric type in the repair sample.

These differences extend to the organic component observed, with the historical materials having a greater proportion of organic coarse material in the form of plant tissue; 7% at Cedar Bend and 15% at the Main House, Oakland while there was only a trace amount observed in the repair material at the Cook's house, Oakland. Pedal structure was only observed in the Cedar Bend thin section it was large and blocky with a random distribution and orientation and was moderately developed and separated. No pedal structure was observed in the other samples examined. This may indicate that there was a higher clay content in the Cedar Bend sample which led to shrink/ swell action. Each historical thin section has channel voids and regular vughs, with the Main House sample have several occurrences of an observed triangular nature to the vughs. This may be caused by root channels or by bioturbation from macro and meso fauna within the sample.

Such biological activity is also evidenced by the trace amount of smooth, ellipsoidal excremental pedofeatures observed in the historical samples indicating soil fauna activity in decomposition of organic material (Kooistra and Pulleman, 2010). The historical samples clearly showed Spanish moss (Fig. 4). In contrast, the Cook's House repair material contained a trace amount of plant tissue and no excremental pedofeatures. Overall, the soil micromorphology reveals both commonalities and differences between the historical and the repair materials. The materials used to create the repair appear to be derived from similar sources, but the nature of their mixing and the relative quantities of the organic components are notably different.

4. NEAR INFRA-RED

4.1 Method

The application of near-infrared (NIR) spectroscopy to earth materials is a relatively recent technique allowing the characterisation between mixed inorganic and organic components to contrasted between different. In the recent study by Parkin et al. 2013 it was demonstrated that earth materials found in historic buildings may contrast strongly with those used for modern-day repairs of such structures. Samples were analysed using a LabSpec 5000 FR Spectrometer (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, Colorado) and a surface contact probe. Exposure times of 5 seconds were used and fifty spectra were collected and averaged for each measurement presented. Following the practice of Chang et al. 2001, spectra are presented as the logarithmic inverse of the reflectance [$\text{Log}(1/R)$]

(Fig. 7). Spectra from multiple field site locations are statistically compared using Principal Components Analysis (Parkin et al. 2013).

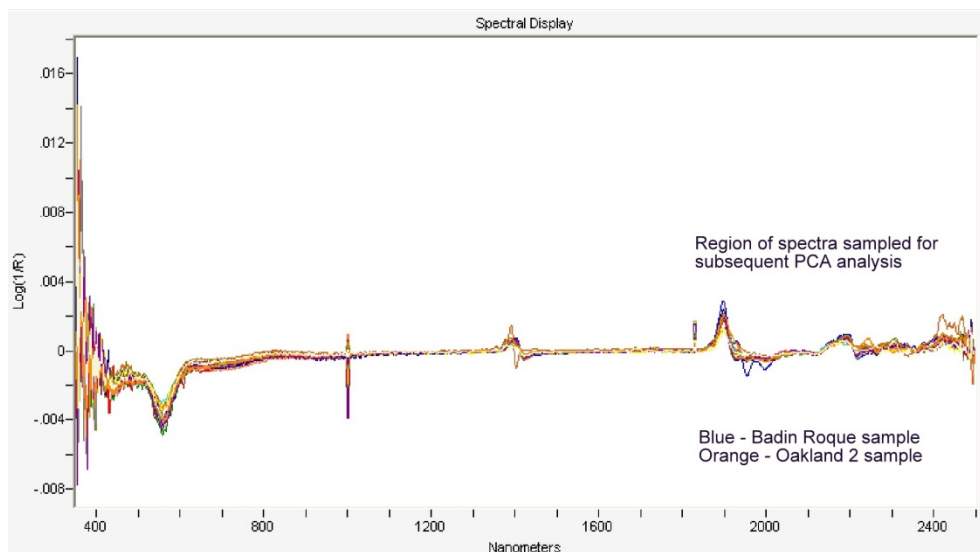


Figure 7. Comparative NIR spectra from repair (Oak 2) and historic (Badin Roque) bousillage.

The spectra were subsampled in order to discard regions associated with instrument artefacts and with scatter. Peaks in the 1400 nm region are associated with clay minerals (structural OH groups), and the peak at 1900 nm from the absorbed H₂O. There are apparent differences in clay types between samples (Fig. 7). A number of smaller more subtle peaks (2090, 2200 and 2280 nm) associated with carbohydrates are seen too. By analysis through taking Principal Components (Fig. 8), multiple small differences between spectra can be considered and groups of materials potentially identified. In this statistical analysis four groups emerge.

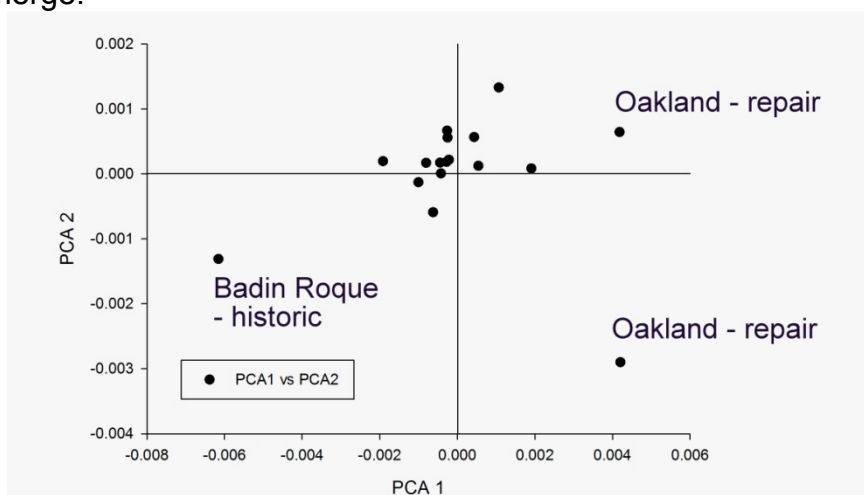


Figure 8. Principal Components scores (PCA 1 vs PCA 2) for a twenty site Near-infra Red analysis.

4.3 Near-infra Red spectroscopy results

Past studies have shown that the near-infra red analysis of earth building materials may show differences in composition, both clay type and organic content, and allow sets of material types to be identified in unknown heritage contexts (Parkin et al. 2013). The analysis of *bousillage* materials follows this pattern with key interest in the interactions surrounding the peak at 1900 nm associated with the stretching and bending modes of H₂O molecules within the material's matrix. The PCA analyses reveal that the historic building of Badin Roque formed a significant outlier to the other historic sites sampled, but

also that the repair materials at Oakland were also seen to be a separate set. This demonstrates further the differences in these repair materials compared to the historic materials and further demonstrates that this non-destructive method has a potential to become more widely adopted for provenancing materials for repair of earth-built structures.

5. CONCLUSION

For all heritage structures, maintaining traditional craft skills and knowledge is essential for the carrying out repairs and restoration work and where this knowledge has been lost an understanding of the materials and methods should be re-established using an evidence-led approach (ICOMOS, 1999; Cassar, 2005). The desired outcome of any repair is that it co-exist with the historical material and would not lead to any further degradation of the material that is being conserved (Mason and Avrami, 2002). The ICOMOS charter (2003) 'Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage' extends this to consider the role of materials research more fully, and has a key guiding principle listed as 'Research and Diagnosis'. This principle relates to the approach that should be taken when undertaking research in to historic buildings and requiring a full understanding of the structural and material characteristics required in conservation practice and, crucially in this present context, the approaches that should be made when diagnosing defects.

In general, finding an earth mix that approximates the historical material as closely as possible would be the desire of the practitioner carrying out the repair. One of the issues with the maintenance of historical properties is that the original historic builder was aware that there may be a requirement to carry out annual structural work due to the nature of the building material. In modern practice this is seen as less acceptable with people looking for medium to long term solutions and hoping to carry out repairs as infrequently as possible. This is done with a view to reducing maintenance costs and practitioners time. The case of *bousillage* repair management presented here is a strong example of this management issue. Present methods of *bousillage* repair are undertaken based upon historical, ethnographic and folk knowledge, but have been modified such that may also include glass-fibre within the repair mix. Whilst this will assist with identifying areas that have undergone repair, the use of this material within the earth-mix used in repair may affect the long-term performance of the material when applied as a patch to damaged structures. The micromorphological and the near-infra red spectral analyses undertaken reveal that there is a recognisable contrast between the repair matrix and historical fabrics including differences in organic components and the size distribution of the inorganic components. Furthermore there is a strong difference in the spatial arrangement of components within the historical materials compared to the repairs.

The long-term consequences of these differences is not yet fully understood. The nature and quantity of the inclusion of plant tissue in the historical material may alternatively be seen as indicative of the building period and materials available at that time and it may be shown that repairs using an additional glass-fibre may not influence the building performance either positively or negatively. It is clear however that the influence of plant tissues in *bousillage* is important but poorly understood; this forms an agenda for future study in order to deliver advice about the nature of repair materials to the National Parks Service and practitioners working in this area.

Acknowledgements

The authors sincerely acknowledge the access to properties in Louisiana granted by The National Park Service, private property owners Mrs Wells and Dr Carol Chin, the Association for the Preservation of Historic Natchitoches (APHN) and St. Augustine Historical Society (SAHS). Prof. Kevin MacDonald (UCL) and Dr David Morgan (SEAC, National Parks Service) kindly facilitated a detailed introduction to this region.

BIBLIOGRAPHY

Adderley, W. P. et al. (2010) Anthropogenic features. In Stoops, G. et al. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier, Amsterdam, pp. 569-588

Adderley, W.P. et al. (2016) Novel micro-scale techniques to establish a life-cycle analysis of earthen-built structures in Scotland, UK. In Corriea, M. et al. *Terra 2012 Proceedings*. Argumentum, Lisbon. pp.189-194.
Bullock, P. et al.(1985)*Handbook for Soil Thin Section Description*, Waine Research, England

Cassar, M. (2005) *Climate Change and the Historic Environment*, Centre for Sustainable Heritage, University College London

Chang, C. W. et al.(2001) Near-Infrared Reflectance Spectroscopy–Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. *Soil Science Society of America, Journal* 65, 480-490.

International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) (1999) *Charter on the Built Vernacular Heritage*, ratified by the ICOMOS 12th General Assembly, Mexico, October 1999

International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) (2003) *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, ratified by the ICOMOS 14th General Assembly, Victoria Falls, Zimbabwe, 2003

Kooistra, M. J. and Pulleman, M. M. (2010) *Features Related to Faunal Activity*. In Stoops, G., et al. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier, Amsterdam, pp 397-418

Mason, R. and Avrami, E. (2002) *Heritage Values and Challenges of Conservation Planning*, In: Teutonico, J. M. and Palumbo, G. (eds) *Management Planning for Archaeological Sites: Proceedings of An International Workshop by the Getty Conservation Institute and Loyola Marymount University. May 2000, Corinth, Greece*. Los Angeles, The Getty Conservation Institute. pp. 13 – 26.

Murphy, C.P. (1985) Faster methods of liquid-phase acetone replacement of water from soils and sediments prior to resin impregnation. *Geoderma* 35:39-45.

Parkin, S. J. et al. (2013) Near infrared (NIR) spectroscopy: a potential new means of assessing multi-phase earth-built heritage. *Analytical Methods*, 5, 4574

Stoops, G. (2003) *Guidelines for Analysis and Description of Soil Regolith Thin Sections*, Soil Science Society of America, Inc. USA

BIOGRAPHY

Dorothy McLaughlin is a PhD student at the University of Stirling. Previous work carried out in association with Historic Scotland developed an interest in earth built structures. An interest in the transference of skills and knowledge has led to a research project which includes work in Natchitoches, Louisiana, USA.

Paul Adderley is a soil scientist based at the University of Stirling and Director of the university's Centre for Environment, Heritage and Policy until 2016. His key research interests span the use of soil- and other natural resources for constructions and other uses by past peoples.

Craig Kennedy became Senior Lecturer at Heriot Watt University in 2013. Previous to this he was Head of Science at Historic Scotland. His key research interest is historic building materials decay and conservation, and in particular the use of scientific research leading to evidence-led conservation practices.

Alick Leslie is a geologist with 20 years' experience in analysis of building materials. He is currently Conservation Science Manager at Historic Environment Scotland and is charged with providing analysis and advice to those responsible for properties in care, and promoting research or relevance to historic building conservation.



Quand les travailleurs de la terre apprennent à la bâtir...

Isabelle MOULIS, Mary JAMIN et Alain MARCOM

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

En Midi-Pyrénées, le Magnoac se singularise par des murs en damiers composés d'une alternance d'adobes et galets. Pour cerner les conditions d'apparition, diffusion et disparition de ce mode de construction original, nous menons une recherche interdisciplinaire sur l'histoire humaine des constructions paysannes en terre crue.

Notre étude démontre la relation très étroite qui existe entre les caractéristiques du mode de construction (techniques et organisationnelles) et le fonctionnement de la société paysanne dans laquelle il s'est imposé aux XIX et XX^{ème} siècles. Cet article aborde plus particulièrement le rapport des « paysans » (cultivateurs, fermiers, domestiques, journaliers, brassiers...) vis-à-vis du corpus et de la mise en pratique des savoir-faire constructifs.

Participant largement aux chantiers de construction dans l'approvisionnement en matériaux, la fabrication des adobes et l'organisation du travail collectif, les personnes mobilisées dans le cadre de « corvées » ont progressivement acquis / partagé certains savoir-faire ou connaissances techniques ou organisationnels. Nous précisons dans quelle mesure ce processus contribue à la spécialisation de (fils de) cultivateurs vers les activités de bâtisseur, offre l'opportunité aux petits paysans d'assurer leur autonomie économique par une diversification des activités et participe à l'acquisition de compétences nouvelles qui vont renforcer le statut des maçons.

L'analyse de lignées familiales de bâtisseurs, charpentiers ou maçons éclaire sur les mécanismes intervenant dans la transmission d'un héritage de compétences au sein de la société paysanne modeste qui aboutit à la reconnaissance de véritables métiers assurant la maîtrise d'œuvre des chantiers de construction.

Notre recherche contribue ainsi à une meilleure compréhension des conditions de dispersion de l'architecture en damiers jusqu'à la « révolution » du métier de maçon où ces bâtisseurs ont rompu avec un matériau jusque-là commun avec le reste du monde paysan : la terre.

INTRODUCTION

Parmi la grande diversité de formes et procédés des constructions en terre crue présente en Midi-Pyrénées, le Magnoac se singularise par des murs en damiers composés d'une alternance de briques de terre crue et de galets (Fig.1). L'esthétique, la singularité et la mise en œuvre de l'architecture en damiers du Magnoac questionnent sur son origine et son adoption. Pour cerner les conditions d'apparition, diffusion et disparition de ce mode de construction original, nous avons engagé une recherche pluridisciplinaire visant à le caractériser, mais aussi cerner les conditions de sa diffusion, à travers l'histoire humaine des constructions paysannes de terre crue, notamment quant à la période et au contexte sociologique de la société rurale et/ou paysanne dans laquelle elles ont été érigées, et les acteurs et gens de métiers mobilisés.



Fig.1. :Appareillage d'adobes et galets des constructions en damier du Magnoac (© I. MOULIS)

1. CARACTERISATION DES MODES CONSTRUCTIFS EN DAMIERS

Concernant plus de 2000 bâtiments, fermes, granges et dépendances agricoles sur un millier de km², l'architecture en damiers (Fig.2) intrigue par son omniprésence dans les campagnes et sa localisation très restreinte dans une région où se côtoient d'autres modes constructifs de terre crue (adobes, torchis, pisé et bauge).



Fig.2 : Corps de ferme en damiers du Magnoac, à Guiserix (© I. MOULIS)

Comme toutes les architectures paysannes, l'architecture pré-industrielle du Magnoac utilise principalement des matériaux tirés de l'environnement proche du lieu de la construction et se base sur des principes efficaces, notamment en termes de protections contre les remontées capillaires et les intempéries (Moulis&Marcom, 2014).

Cependant la disponibilité des ressources naturelles ne suffit pas à expliquer le damier puisque divers modes constructifs mettent en œuvre adobes et galets hourdés à la terre dans les mêmes proportions (2/3 et 1/3). Le motif en damier implique un choix délibéré de ce mode constructif singulier, « hors du commun »...

1.1. Les matériaux constitutifs

La terre, la pierre calcaire et les galets de silice sont les principaux constituants des murs ; le bois des haies ou des forêts environnantes constitue la charpente et les parties en bois des menuiseries.

Les adobes, appelés localement « *mottos* », sont fibrés avec différents végétaux : pailles de plantes diverses, fines branches d'arbres, herbes ou foin... Les terres des adobes peuvent être de couleurs différentes, mais leur granulométrie apparente est toujours très fine (inférieure à 1 mm). Différentes catégories d'adobes, distincts par la terre, la nature et la proportion de végétaux présents et les formats (14,5 à 17cm de hauteur, 15 à 18 cm de largeur, 35 cm de longueur), posés dès l'origine, peuvent coexister dans un même édifice. La coexistence de différents types d'adobes et la corrélation entre terre et végétaux associés suggèrent une seule mise en œuvre sur chantier, d'adobes de différentes productions, diverses origines et diverses sources d'approvisionnement, différentes époques et/ou différents lieux de puisage de la terre et de fabrication.

Les adobes et les galets sont montés avec un mortier de terre sans liant de type chaux aérienne, hydraulique ou ciment. L'analyse des éléments-traces et des terres rares, effectuée par le Laboratoire Géosciences de l'Environnement de Toulouse, a permis de déterminer l'origine de la terre employée (Aubert *et al.*, 2014) pour un chantier à

Castelnau-Magnoac. Le mortier de terre est issu de ce qui est devenu la mare, remblayée depuis. Le matériau constitutif des adobes en place provient généralement de quelques hectomètres, mais l'origine de tous n'a pu être retrouvée, ce qui suggère des sources plus éloignées.

Bien différente de celle des adobes « ordinaires » de Midi-Pyrénées, la forme spécifique des « *mottos* » du Magnoac (double cube) facilite grandement la résistance à la fracture des adobes lors du transport. C'est peut-être cette caractéristique qui explique la différenciation du format... Quant à la capacité de collage de la terre avec le bois, tout le monde en était convaincu sous ses sabots !

1.2. Les spécificités constructives des murs en damiers

Le mode constructif en damiers présente des « aberrations » techniques qui défient les principes couramment admis dans les « bonnes pratiques » de construction, sans pourtant compromettre la pérennité du bâti pluriséculaire dans ce secteur du piémont pyrénéen classé 3 sur l'échelle des risques sismiques.

Dans les murs en damiers (Fig.3), les adobes longs de 35 cm sont posés en boutisse et en quinconce, verticalement et horizontalement, dans le mur de 50 cm d'épaisseur. Le « cube » entre les adobes, d'une quinzaine de centimètres de côté, est rempli de mortier pour sceller des galets. Cette « cellule » est remplie de galets le plus possible.



Fig.3 : Disposition des adobes et galets dans les murs en damier du Magnoac (© A. MARCOM)

De ce mode de pose en damiers résulte un alignement de tous les joints verticaux entre les adobes, dont la partie centrale est vide de mortier (Fig.4). A chaque extrémité, les cellules de galets, remplies de mortier, assurent à la fois la fonction de joint vertical entre des adobes éloignés de 17 à 20 cm dans un même rang et sur une même face de mur et l'adobe du fond de la cellule, du même rang et aligné sur l'autre face du mur, et de la même manière, celle de joint horizontal entre les trois adobes d'une même colonne.

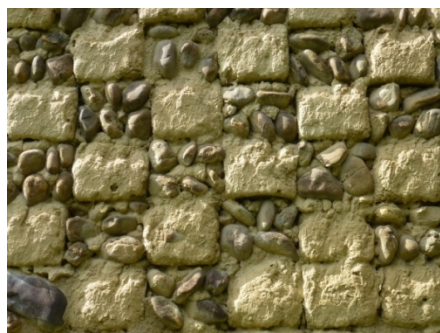


Fig.4 : Alignement systématique des joints verticaux, sans mortier (© I. MOULIS)

Malgré cette « aberration » du coup de sabre systématique, le mode constructif en damier est mis en œuvre pour des murs parfois très importants. Ainsi à Castelnau-Magnoac, le mur sud de la grange de Carrole (Fig.5) a un élancement de 17 (rapport entre hauteur au pignon : 8,50 m, et épaisseur : 0,50 m) et un élancement supérieur à 24 dans le rapport entre hauteur du mur et longueur du petit élément en boutisse (35 cm) sans chaînage. Dépourvu de faux aplomb, ce mur n'est relié au reste du bâtiment que par des éléments qui ont aussi une autre fonction : charpente, plancher bois et maçonnerie de pierre dans les angles. Les solives de plancher sont scellées au mortier de terre à environ 4 m du sol et les pannes de toiture au même mortier entre 7 m et 8,5 m. Situé en zone sismique 3, à moins de 100 km de l'épicentre du dernier séisme mortel en France en 1967, ce bâtiment ne comporte aucune trace visible de déformation et/ou réparation consécutive à cet événement, ni aux secousses survenues au cours des derniers siècles.



Fig.5 : Elancement très important de certains murs en damiers du Magnoac (© I. MOULIS)

Une autre singularité des murs en damiers est l'absence fréquente d'enduit, dès la construction. La pose des entourages des ouvertures en bois ou en briques cuites, 2 à 3 cm en saillie ou alignés sur le nu extérieur, indique clairement que le parti d'enduire ou non est pris dès la construction du premier rang d'adobes.

Le mode constructif en damiers suggère une confiance des habitants dans ce matériau « terre crue » au point d'édifier de nombreux bâtiments de grandes dimensions, habitation et dépendances, selon une technique originale défiant les principes couramment admis dans la maçonnerie générale (croisement des joints, hourdage de toutes les faces, chaînages...).

2. RELATIONS ENTRE LE MODE CONSTRUCTIF ET LA SOCIÉTÉ PAYSANNE

L'architecture en damiers fait appel à un corpus de savoir-faire à la fois très pointus (Mouliset *al.*, 2013) et très largement communs et partagés au sein de la société paysanne. En effet, les constructions en damiers mobilisaient une abondante main d'œuvre au sein de la famille, des voisins proches et des alliés, le plus souvent lors de

« corvées », terme qui désigne un ensemble de travaux collectifs, fondateurs de la culture paysanne locale et de la cohésion sociale.

2.1. Une direction collégiale du chantier

Les chantiers de construction en damier étaient placés sous la direction de trois « chefs d'orchestre » assurant une direction collégiale :

- le maître d'ouvrage, décideur final des choix financiers, mais aussi organisateur de la production d'adobes, de l'abattage des arbres et d'une partie du recrutement ;
- le « maçon » régisseur des caractéristiques des matériaux géo-sourcés et possesseur du savoir bâtir y afférant, et auquel incombait à la fois l'organisation fonctionnelle des travaux, la gestion des différentes tâches et des diverses « petites mains » et l'accomplissement des interventions les plus délicates ou exigeantes ;
- le « charpentier » régisseur des caractéristiques des matériaux bio-sourcés, possesseur du savoir bâtir y afférant et « stabilisateur final » de la construction.

Chacun avait sa trame de calendrier avec un rendez-vous, dans plusieurs années peut-être, pour le chantier. Il y avait une complémentarité temporelle entre les travaux des champs et la fabrication des adobes. Différentes actions de fabrication pouvaient être lancées plusieurs années à l'avance dans la famille et les alliés.

Un tel système organisationnel est proche de celui qui prévaut à la construction en bauge ou en pisé, deux techniques constructives en terre massive également en cours sur le territoire du Magnoac, bien que les contraintes organisationnelles des chantiers soient légèrement différentes...

2.2. L'organisation des chantiers contribue à la transmission des savoir-faire

Nous avons pu démontrer (Moulis&Marcom, 2014) qu'il existe une relation très étroite entre les caractéristiques du mode de construction (techniques et organisationnelles) et le fonctionnement de la société paysanne dans laquelle il s'est imposé aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles.

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement au rapport des paysans (cultivateurs, fermiers, domestiques, journaliers, brassiers...) vis-à-vis du corpus et de la mise en pratique des savoir-faire constructifs. Participant largement aux chantiers de construction dans l'approvisionnement en matériaux, la fabrication des adobes et l'organisation du travail collectif, les personnes mobilisées dans le cadre de « corvées » ont progressivement acquis, partagé et expérimenté certains savoir-faire ou connaissances techniques ou organisationnels des chantiers de construction en terre (Mouliset *al.*, 2014).

Vers le milieu du XIX^{ème} siècle, le nombre de fermes a fortement augmenté en Magnoac et la plupart des fermes existantes ont été agrandies de manière considérable (Fig.6). Cette expansion des constructions rurales est à rapprocher de l'aménagement du Canal de la Neste et des canaux dérivés permettant l'irrigation de vastes terres agricoles jusque-là peu fertiles et productives, une mutation des cultures vers des produits plus rentables, et par voie de conséquence, un enrichissement significatif des exploitants.



Fig.6 :Coexistence de pisé et de damiers : grange à Cuelas-Barrau (© I. MOULIS)

L'organisation des chantiers contribue à la transmission des savoir-faire, en particulier lorsqu'il s'agit de constructions en adobes, car les moins expérimentés ou les plus jeunes (y compris les enfants de 6 ou 7 ans) sont mobilisés à différentes étapes du chantier. Ainsi, outre la fabrication des adobes, les savoir-faire spécifiques du damier sont transmis à la fois pendant l'approvisionnement du chantier et l'organisation des travaux collectifs... Comme bâtir en adobes, le mode constructif en damier présente les avantages de la construction en modules préfabriqués que sont les adobes, notamment en terme d'affranchissement (ou moindre incidence) vis-à-vis des conditions météorologiques sur le chantier, de rapidité d'édification et d'optimisation de l'élévation des murs, de plus large saison envisageable, de moindre spécialisation des tâches sur le chantier, du fait de la relative simplicité de la construction en petits éléments qui ne nécessite pas une grande technicité des participants au chantier, la réduction des dépenses du chantier puisque l'ensemble des matériaux de constructions est produit par / au sein de la famille et la possibilité de transporter les adobes façonnés ailleurs, plus près de la source d'approvisionnement en terre appropriée.

Par contre, le rôle du « maçon », le responsable-bâtitteur, était prépondérant (Moulis *et al.*, 2014). C'est ainsi que ce processus contribue à la spécialisation de (fils de)cultivateurs vers les activités de bâtisseur, offre l'opportunité aux petits paysans d'assurer leur autonomie économique par une diversification des activités et participe à l'acquisition de compétences nouvelles qui vont renforcer le statut des maçons.

2.3. Une confiance sociale envers le mode constructif en damiers

Le rapport des paysans avec le corpus et la mise en pratique des savoir-faire constructifs n'est pas chose nouvelle : de tout temps, le paysan est l'homme de la terre, mettant en œuvre des décisions fondées sur son expérience empirique de sa texture, son humidité, ses composantes chimiques et organiques, etc.

Si envisager de construire en terre massive doit aujourd'hui faire les preuves d'une résistance et d'une solidité des constructions, la résistance au feu ou au risque sismique, jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, en Magnoac comme dans la plus grande partie de la région midi-pyrénéenne (et bien au-delà), c'était le mode constructif usuel, communément pratiqué. Ce n'est pas dans l'utilisation de la terre comme matériau de construction que l'architecture en damiers interpelle, mais dans la mise en œuvre d'adobes parfaitement alignés verticalement, qui s'oppose au principe de base de la maçonnerie de petits éléments consistant à bannir le « coup de sabre ». Pour être en damiers, les adobes et galets sont positionnés de manière systématique selon un canevas / quadrillage qui n'est parfait que lorsque les alignements horizontaux (appareillage assisé) et verticaux (joints verticaux) sont rigoureusement soignés.

L'origine de la technique du damier reste encore méconnue. Mais sa diffusion a été extrêmement « rapide » et abondante, semblant se substituer majoritairement aux autres modes constructifs co-existant sur le territoire : le pisé et la bauge. Se pose alors la question de l'acceptation d'une telle technique, semblant présenter de sérieuses faiblesses structurelles...

La réalité de terrain montre que les bâtiments en damiers sont stables depuis leur construction (aucune fissure structurelle) malgré l'absence de chaînage horizontal (ni bois ni métal) noyé dans la maçonnerie ou apparent, spécifiquement dédié à la résistance à la traction horizontale ou verticale des efforts de déformation du mur. Toute la charge est donc supportée par les adobes ; la charpente, par sa conception et sa réalisation, semble assurer les fonctions dévolues de nos jours aux chaînages verticaux ou horizontaux des murs en maçonnerie de petits éléments. De plus, le damier est employé dans tous les types de bâtiments : petites masures comme maisons de maître, granges, extension de bâtiments agricoles, annexes... et dans de nombreux cas, inclusion d'une unité bâtie primitive (souvent en pisé) dans une ferme plus importante combinant habitation et dépendances.

Ce double constat suggère une confiance des maîtres d'ouvrage (propriétaires) et des maîtres d'œuvre (« maçons » mobilisés), ainsi qu'une coopération forte notamment entre charpente et maçonnerie, liée probablement à des échanges denses et féconds entre ces deux métiers. Cette confiance « collective » vient sans conteste d'une culture commune de ce qu'est la terre en tant que matériau. Tous les bâtiments construits autour d'eux sont en terre depuis très longtemps. L'économie et les conditions météorologiques locales sont favorables à ce mode constructif. Le partage possible du travail de conception et de réalisation entre parties prenantes, donc un partage des responsabilités et du savoir, est certainement un élément de facilitation de la diffusion de ce mode constructif. Plus largement, il semble que la bonne connaissance du matériau « terre » par l'ensemble des acteurs du chantier, et en tout premier lieu les charpentiers, a suffi pour que cette technique originale du damier soit admise, diffusée, adoptée...

3. LA SPECIALISATION DES METIERS

La spécificité des constructions en damiers et la multiplication des chantiers dans le Magnoac ont contribué à une spécialisation des métiers de la construction.

Traditionnellement, dans le monde paysan, l'organisation collective des chantiers participe aux processus de transmission des savoir et savoir-faire au sein des familles et des lignées, mais aussi entre voisins et alliés (Moulis et al, 2014). Par contre, le rôle du « maçon », le responsable-bâtitseur, était prépondérant. C'est ainsi que ce processus contribue à la spécialisation de (fils de) cultivateurs vers les activités de bâtisseur, offre l'opportunité aux petits paysans d'assurer leur autonomie économique par une diversification des activités et participe à l'acquisition de compétences nouvelles qui vont renforcer le statut des maçons.

3.1. La spécialisation vers les activités et tâches de bâtisseurs au sein du chantier

L'analyse des archives, et notamment des recensements de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, confirme la suprématie des familles de paysans : cultivateurs, laboureurs, journaliers et brassiers, ainsi qu'un nombre extrêmement réduit de « maçons » alors que sont très représentés les charpentiers, auxquels s'ajoutent dans les petites bourgades les plâtriers. Très nombreux sont les brassiers et les journaliers, mais ces termes ne précisent

pas la nature des travaux réalisés puisqu'ils sont indifféremment utilisés pour tous les travaux mobilisant une forte main d'œuvre.

La comparaison des listes entre différents recensements montre que la plupart des « maçons » sont issus de famille de paysans, généralement fils de cultivateurs. Alors que la transmission du métier de charpentier s'avère essentiellement familiale, de père en fils, le métier de « maçon » apparaît dans des familles de paysans entre 1860 et 1896. Pour être rigoureux, il convient de relativiser quelque peu ce constat puisque la pluri-activité peut conduire à un « biais » du recensement : le métier de la personne rencontrée variant selon les saisons, celle-ci peut, d'une année ou saison à l'autre, se dire « cultivateur » ou « maçon ». Malgré ce biais possible, les données montrent de manière incontestable que les maçons du Magnoac étaient fils de travailleurs de la terre, autrement dit qu'une spécialisation vers les activités de construction s'est opérée au sein des familles paysannes, ou alors que les fils faisaient les deux métiers, témoignant d'une pluriactivité saisonnière. Dans les deux cas, la singularité des chantiers de damiers s'est accompagnée d'une spécialisation vers les activités et les tâches de bâtisseurs au sein des familles paysannes.

3.2. Une « rupture culturelle » avec le matériau terre...

Le mode constructif du damier interpelle à la fois sur le choix de la technique puisque le pisé ou la bauge (Fig.7 et Fig.8) sont également pratiqués dans le Magnoac, sur l'origine de cette technique singulière, sur les mécanismes de sa diffusion et de la confiance sociale qu'elle a suscitée et sur les processus de transmission ou formation des gens de métiers.



Fig.7 :Coexistence du pisé et du damier dans un même bâtiment, à Peyret-Saint-André (© I. MOULIS)



Fig.8 :Coexistence des différents modes constructifs à Sarriac. (© I. MOULIS)

Dans la société rurale du XIX^{ème} et de la première moitié du XX^{ème} siècle, l'absence d'archives, devis ou autres écrits, atteste que bâtir en terre est la continuité et/ou le prolongement des activités des cultivateurs... l'omnipotence de la terre à la fois source de subsistance et matériau de construction. La terre est la matrice unique pour s'alimenter et s'abriter, nourrir et protéger.

L'architecture paysanne est une architecture de cueillette. L'acte de construire est un acte collectif, piloté par un « sachant » qui s'est peu à peu spécialisé au sein même des familles paysannes qui vivent de la terre.

La diffusion du damier cesse après-guerre, dans les années 1950, période d'intenses (re)constructions où les maçons d'alors « *se sont appris tout seuls* » (dixit) en regardant les pratiques sur les chantiers prestigieux de construction d'écoles, gares et autres édifices publics avec notamment la généralisation de l'emploi du ciment... Fils ou petits-fils de maçons, chacun des anciens maçons rencontrés est fier d'avoir appris sur le tas et par mimétisme, en délaissant jusqu'au point d'occulter de ses propres connaissances du matériau « terre »... alors qu'il a commencé sa carrière de maçon en apprenant la terre, en travaillant avec la terre, en construisant en terre.

Incontestablement, après-guerre s'est opérée une rupture que l'on peut qualifier de « rupture culturelle » vis-à-vis du matériau commun aux paysans et aux bâtisseurs. Emprunt de modernité et fort de l'aura des progrès industriels, le ciment s'est imposé dans la construction au détriment de la terre que, très rapidement, plus personne ne considère comme matériau de construction. Avec cette rupture culturelle vis-à-vis du matériau terre s'est affirmée la spécialisation du métier de « maçon » qui, désormais, ne pratique plus le matériau qui était jusqu'alors commun au paysan et au bâtisseur...

CONCLUSION

Les caractéristiques (techniques et organisationnelles) du mode de construction en damiers sont étroitement liées au fonctionnement de la société paysanne des XIX et XX^{ème} siècles. La participation quasi-généralisée des « gens de la terre » (paysans, cultivateurs, fermiers, domestiques, journaliers, brassiers...) aux chantiers de construction, ainsi que des autres personnes mobilisées dans le cadre de « corvées » (approvisionnement en matériaux, fabrication des adobes...) assurait le partage du corpus et la mise en pratique collective des savoir-faire constructifs et/ou des connaissances techniques ou organisationnelles. Ce processus a contribué à la spécialisation de (fils de) cultivateurs vers les activités de bâtisseur, offrant l'opportunité aux petits paysans d'assurer leur autonomie économique par une diversification des activités et d'acquérir des compétences nouvelles qui vont progressivement renforcer le statut des maçons.

L'analyse de lignées familiales de bâtisseurs, charpentiers ou maçons éclaire sur les mécanismes intervenant dans la transmission d'un héritage de compétences au sein de la société paysanne modeste qui aboutit à la reconnaissance de véritables métiers assurant la maîtrise d'œuvre des chantiers de construction. Notre recherche contribue ainsi à une meilleure compréhension des conditions de dispersion de l'architecture en damiers jusqu'à la « révolution » du métier de maçon où ces bâtisseurs ont rompu avec un matériau jusque-là commun avec le reste du monde paysan : la terre.

L'architecture en damiers contribue tout particulièrement à cette spécialisation des bâtisseurs du fait qu'elle apparaît et se diffuse à une période d'intenses constructions (2^{ème} moitié du XIX^{ème} et début du XX^{ème} siècle). Sans doute a-t-elle représenté l'affirmation d'une réussite sociale de certains travailleurs de la terre et aussi l'accession à la propriété terrienne d'autres. L'intensification des constructions a multiplié les besoins et opportunités de chefs de chantier et, ainsi, suscité la différenciation de métiers jusque-là presque indifférenciés. Le fils de paysan-bâtisseur a progressivement « abandonné » les

travaux d'agriculteur pour ne pratiquer que des travaux de bâtisseur : le métier de maçon s'est alors affirmé en tant que tel...

BIBLIOGRAPHIE

Aubert, J.E. et al. (2015). *Chequered earth construction in south-wertern France*. IN : Journal of Cultural Heritage. 2014.

Moulis, I. et Marcom, A. (2014). *Murs en damiers de terre crue en Magnoac : renouer le fil de l'histoire des constructions paysannes*. IN : 2^{ème} Congrès Francophone sur l'Histoire de la Construction, Lyon, 29-30 janvier 2014.

Moulis, I. et al. (2014). *The earthen checkered architecture (adobes and pebbles) of Magnoac (France) : for a revaluation of sustainable material with the current population*. IN : VerSus 2014 / 2nd MEDITERRA / 2nd ResTAPIA, Valencia (Espagne), 11-13/09/2014.

Moulis, I. et al. (2013). *The earthen vernacular architecture of Midi-Pyrenees (FRANCE) : dialog about know-how and sustainable art of building between past and actual builders*. IN : International Conference Vernacular Heritage & Earthen Architecture, CIAV 2013, Vila Nova de Cerveira (Portugal), 16-20/10/2013.

NOTICES BIOGRAPHIQUES DES AUTEURS

Consultante en Ethnologie du Patrimoine & Architecture, l'ambition professionnelle d'Isabelle MOULIS est de contribuer à (re)mettre les hommes au cœur des projets de territoire pour un développement durable. Membre d'ICOMOS CIAV et ISCEAH, elle travaille principalement sur la préservation et la mise en valeur du patrimoine architectural, urbain et paysager, historique et archéologique, naturel et culturel.

Alain MARCOM pratique à la construction en terre au sein de la coopérative ouvrière autogérée co-fondée en 1987 : SCOP Inventerre. Maçon, il milite pour l'écologie dans le bâtiment et la reconnaissance des savoir-faire liés aux matériaux écologiques, en participant à la rédaction des règles professionnelles françaises. Dans son ouvrage Construire en terre-paille, il tire les enseignements de ses chantiers.



Examining earthen building methods at the Nyarma monastery in Ladakh

Hubert FEIGLSTORFER

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The accessible adobe brick ruins of Nyarma in Ladakh provide a unique opportunity for research on earth building traditions up until ca. 1000 years ago. The monastic compound which today is in ruins with no remaining wooden structure is composed of one main temple and four free standing temple structures. According to literature sources, only the main temple is dated (Feiglstorfer 2016). Mineralogical research on material qualities together with an examination of the construction of the temples revealed the relation between material qualities and properties of construction.

Results include knowledge on the origin of the temples' earth material and the processing of such material as an economic working practice. Aspects of construction, like the width of the walls, the different kinds of brick bond, the sizes of the bricks or the tapering of walls, are analyzed and the results juxtaposed to mineralogical analyses on factors such as bulk- and clay mineralogy, grain size distribution, grain shapes, color and organic additives. With a package of constructive and material features, the individual characteristics of each temple are uncovered and the results compared. Conclusions are made on the use of different brick sizes and '3-bricks' and '2-bricks' brick bonds, and their relation to a certain group of temples. An explanation for the method of tapering walls and the use of tapered walls within the whole monastic compound is determined. Certain analogies in constructive and material characteristics allow for a hypothesis on the grouping of temples within a common period of foundation.

The stating of an interrelation between certain methods of construction and the quality of the building material is a methodological step forward in research on the interrelation between historic and recent methods of construction, and is a basis for further research on vernacular Himalayan structures.

INTRODUCTION

The monastery at Nyarma is one of the three first West Tibetan monasteries founded in the year 996 AD. Nyarma was the monastic centre of Maryul, the most western part of the empire which is similar to today's territory of Ladakh. The foundation of this monastery may be evidence of an introduction of a new architectonic program in the Western Himalayas. Since the monastic site of Nyarma is in ruins, only a study of the adobe brick construction is possible. Its constructive features mark the earliest existing examples of a monastery in Ladakh and are examples of early traditions in using adobe in this region. The whole site consists of five temples of which only the oldest – the main temple – is dated to 996 AD (Fig. 1 / Fig. 2). Whether or not the other temples were erected at the same time as the main temple or successively at a later period is still unknown. To obtain a closer understanding, early traditional methods in building with earth in the Himalayas, the methods of construction and the used earthen material are studied, analyzed and compared.

This investigation is based on several field studies conducted within the FWF-project 'Society, power and religion in pre-modern Western Tibet' at the Austrian Academy of Sciences. It is further based on material research within the 'Clay mineral analyses' project sponsored by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) and the Austrian Academy of Sciences (ÖAW). Lastly, it is an excerpt from my doctoral thesis 'Mineral building material-traditions in the Western Himalayas'.



Fig. 1 View from the east over the ruins of Nyarma.

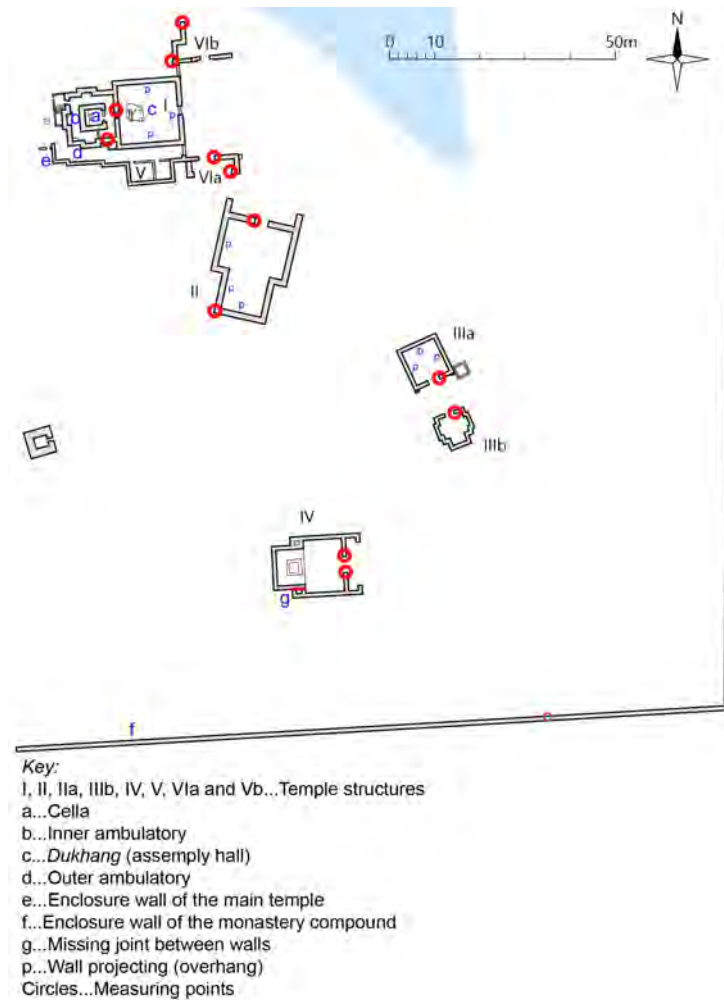


Fig. 2 Ground plan of the ruins of the monastery of Nyarma.

1. RESEARCH QUESTION AND METHODOLOGY

When considering the use of particular earthen material, like bricks, for building purposes up until 1000 years ago, the question exists of whether the raw material currently still used in close vicinity to the site matches with the historically used material or was this material delivered from another site. An answer to this question gives the first proven statement for the hypothesis that a main factor in choosing the site for such an important religious structure was related to the availability of proper building material – meaning an economic and practical decision. It is conspicuous that the central cores of the earliest three monasteries in West Tibet – Nyarma, Tholing and Khorchag –which were all founded in 996 AD, were all erected with adobe bricks and all related to a similar environmental situation like that of the monastery in Nyarma. This raises questions about the way particular raw material was used for construction purposes in regard to brick bonds, wall thicknesses, the sloping of walls and methods for static reinforcement.

For each temple specific constructive characteristics, like brick size, brick bonds, organic additives, layers of plaster, types of foundations, use of wooden inlays or the thickness of the mortar, are documented and compared with each other. In the field of material research, samples of each temple are analyzed according to the used raw material regarding organic additives or mixtures of several different types of clay. Laboratory analyses are conducted at the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna in order to observe bulk and clay mineralogical features of the used material, to become familiarized with grain size classes used for different building purposes, and learn about related mixtures and possible ways they were prepared. With this package of constructive and material features, the individual characteristics of each of the temples can be determined.

The method of introducing constructive and particularly bulk- and clay-mineralogical data supports the traceability of constructive continuities and also changes between the temple structures. Analogies and also in-conformities inconstructive and material characteristics support efforts to find relations between periods of construction of the single temple structures.

2. MATERIAL QUALITIES

2.1. Examination of raw material

Being that written evidence of the material used for construction is not available, we start with an examination of locally known and still recently used raw material for adobe bricks. Such material is found along the link road to the monastery. To ensure that the recently produced adobe bricks in Nyrama equal the material from the clay pit, two samples of bricks and two samples from two different clay pits are examined and juxtaposed.

The grain size analysis of the material from the clay pits compared with the material used for recently produced adobe bricks matches, and we are able to state that the recently produced raw material used for bricks was not manipulated by sieving or mixing. The content of gravel ranges between 3.9% and 9.3%, the content of sand between 51.6% and 65.9%, the content of silt between 17% and 28.7%, and the content of clay between 10.6% and 14.9%. The median of the grain size classes ranges between 95 μm and 180 μm and the <2 μm fraction contains between 11% and 15% of the whole sample (Fig. 3).

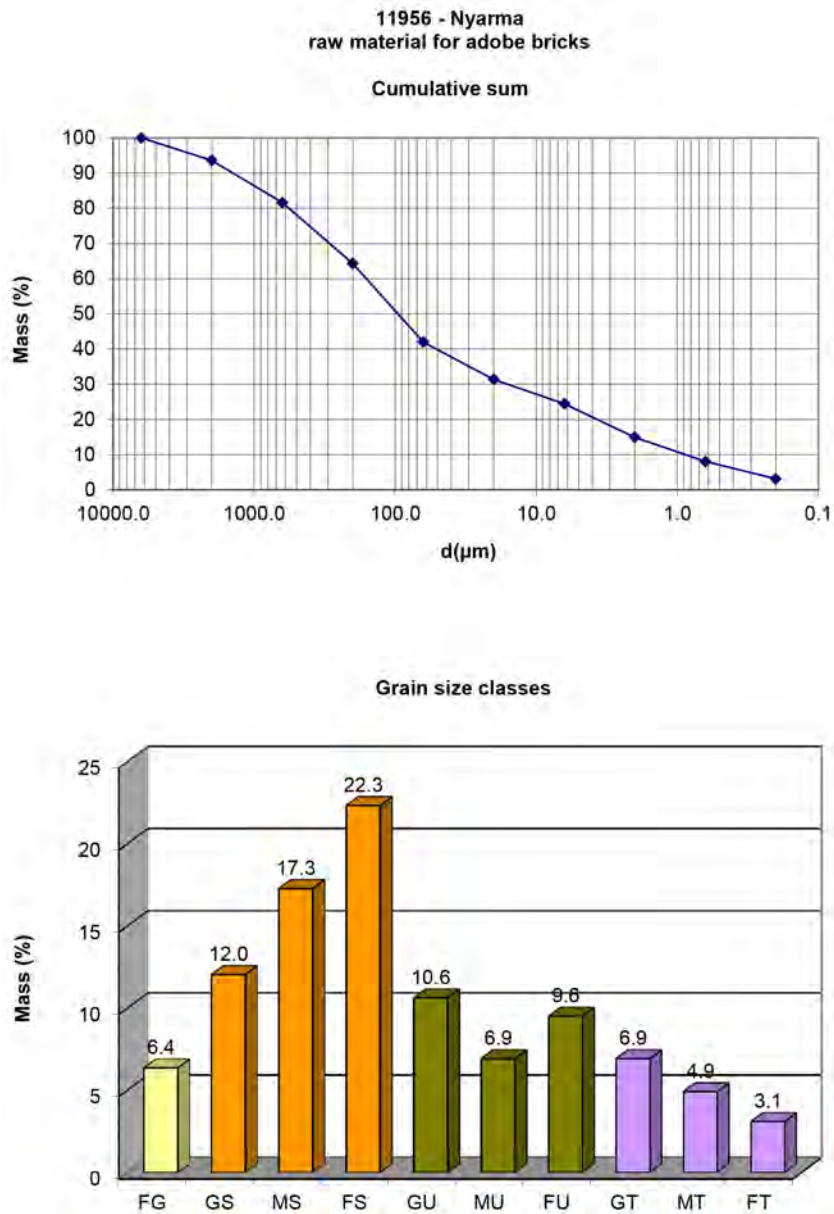


Fig. 3 Grain size distribution of a still active clay pit.

2.2. Examination of original bricks

Next, the material used for original bricks of all the temples is analyzed and compared with the raw material. For this purpose at least one brick sample from each of the temples is examined. In total eleven samples, including the enclosure wall which still exists in fragments primarily in the south of the monastery compound, are used (see Fig. 2). In most cases, the sampling point is along the reveals of the entrances of the temple structures since most of the walls are plastered and just the reveals remain uncovered. This enables the measuring of brick size and the examination of brick bond.

An analysis of the grain size distribution of the original bricks shows a content of gravel between 1.3% and 12.2%. The strongest fraction is sand, ranging between 40.6% and 64.5%. Silt is the second strongest fraction, ranging between 19.4% and 37.7%, and the clay fraction ranges between 10% and 20.8%. The material is relatively coarse ranging between medium gravel as the largest, and fine clay as the smallest fraction. The medians are located between app. 28 μm and 180 μm, and the <2 μm fraction contains between

app. 10% and 21% of the whole sample. In comparison with the afore described samples from clay pits and recently produced bricks, the bricks from the monastery show similar features regarding grain size classes. The bulk mineral analysis of all recently and also historically produced bricks likewise shows strong similarities amongst the bricks. 14Å minerals, mica, 7Å minerals and phyllosilicates appear as traces or in small amounts. Amphiboles range between traces and medium amounts, quartz primarily as small amounts, K-feldspar ranges between traces and medium amounts, and plagioclase appears up to a medium amount. Except for three out of 15, all samples show traces of calcite which points towards its natural availability and not an anthropogenic addition. Regarding the clay mineral properties, a small content of swellable clay minerals – in particular smectite – of an amount of 2% to 5% is determined. The content of illite ranges between 59% and 68%, the content of kaolinite between 6% and 10% and the content of chlorite between 21% and 30% (Fig. 4).

Comparing the average values of examined original adobe bricks from the monastery with recently produced bricks, the used material follows a similar pattern regarding grain size distribution as well as bulk and clay mineral content. With this result we make the important statement that the building material used for the monastery originates from a location in close vicinity to the site or from the site itself.

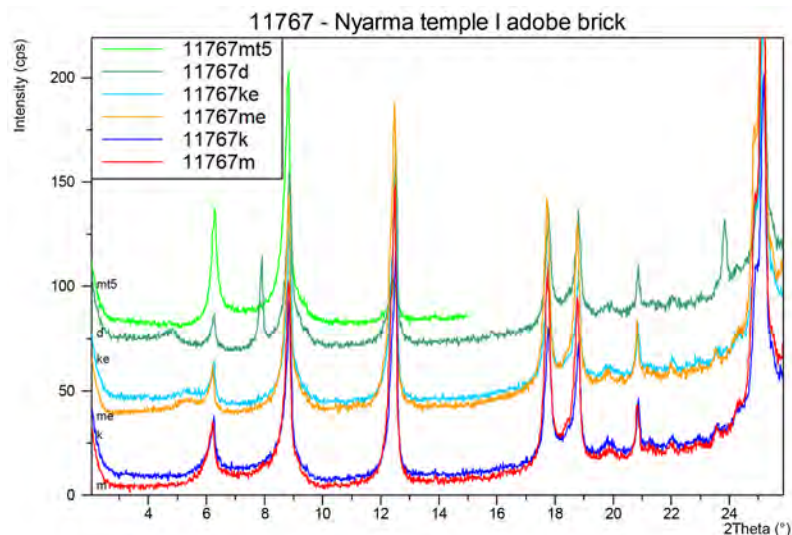


Fig. 4 Clay mineral analysis of a brick sample from the main temple.

2.3. Comparison of original bricks from the single temples

In a further step the single original bricks are examined regarding possible differences in grain size composition. Apart from the previously made general observation, we still find slight differences in the single brick's grain size distribution. Grain size distribution on the one hand could still range within the general features of the area close by but on the other hand point towards the use of different clay pits and show similarities or dissimilarities between raw material used for a group of temples. As a result of this analysis we achieve a hypothetically intermediate result showing the following similarities or dissimilarities, respectively:

Structures with matching features:

- o Regarding a small content of gravel, temples I, IIIb and VIa are comparable to each other. Regarding a relatively small content of sand, temples I and VIa show similarities,

and regarding a relatively high amount of clay, again temples I, IIIb and VIa show similarities with the <2 µm fraction containing between app. 18% and 21%. Such results clearly show more content of clay than the average samples. Structures with reduced matching features, i.e. structures where the used material shows clear evidence of being taken from different pits, concerns the following structures.

- o Temple I versus temple VIb
- o Temple I versus temple II
- o Temple I versus enclosure wall

At this point the constructive features of the adobe brick structures are explained and compared with the results of the material observation given above.

2. CONSTRUCTIVE FEATURES

2.1. Comparison of brick sizes

Brick sizes found at the main temple, not considering its side temple VIb, range between 38–42 x 26–29 x 10 cm (LxWxH) (see Fig. 2). Parts of the side temple VIb contain bricks of a length of up to 45 cm which clearly exceeds the average size of bricks found in the main temple. Such a bigger brick size is also found at temples II, IIIa, IV and at parts of VIa with 46 x 26–27 x 12 cm, 49 x 28–29 x 11 cm, 41–48 x 26–29 x 10 cm and 3.5–45 x 29–30.5 x 8–10 cm, respectively. Some of the bricks are higher by 1 to 2 cm (12 cm instead of 10 cm) but their width remains similar. In this regard we can confirm the presence of two different brick sizes. Bricks with a length of app. 40 cm are found in all the accessible parts of the main temple, such as the *dukhang* (assembly hall), the inner and outer ambulatory, temples V and VIa, and also temple IIIb. The second brick size with a length of up to 49 cm with an average length of app. 45 cm is found in temples II with a size of 46 x 26–27 x 12, IIIa with a size of 49 x 28–29 x 11, and IV with a size of 45 x 26/11 cm. With a length of 43 cm and a height of 11 cm the enclosure wall ranges between these two groups.

Regarding the results of the mineral analysis, the previous hypothesis regarding similarities of structures applies to temples I, IIIb and VIa. Interestingly, these are also temples which have a comparable brick size. For these structures we state the same tradition of using a specific locally available raw material and producing bricks of a rather similar size. Parts of temple VIa show a relative strong wall at 116 cm, and a brick size of 43.5–45 x 29–30.5 x 8–10 cm which exceeds the average length of the first mentioned group of bricks with a length up to 40 cm but with a grain size distribution still matching the results received for the main temple.

The length of bricks of several religious structures in the Western Himalayas in the beginning of the second millennium such as in Khorchag, Chigtan, Mundig, Basgo, Nako, Tabo or Alchi also ranges between 42 and 49 cm, with a width between 21 and 29 cm and a height between 10.5 and 12 cm. In general, brick sizes found in Nyarma range within these brick sizes of early Western Himalayan structures.

2.2. Comparison of brick bonds

In the main temple, the oldest part of the monastery, we find adobe brick walls with a thickness between 100 cm and 110 cm. This concerns walls of the *cella*, the *dukhang* and the side temples VIa and VIb. The enclosure wall of the main temple shows a reduced wall thickness of app. 73–75 cm. Temple II has the highest wall thickness at 132 cm. All other walls range below 100 cm, like temple IIIa with 89–91 cm, temple III b with 74 cm, and

temple IV with 89–91 cm. Further, at 74 cm, the enclosure wall around the whole compound is similar to the wall thickness of the enclosure wall around the main temple. After comparison, temple I shows unity in itself, and temple II again steps out of line compared to the whole compound.

It is again temple II which differs from the other structures as the only temple with unplastered outer surfaces. Such construction allows us to gain good insight into the brick bond. At all structures it is possible to examine the brick bond in a cross section of the walls, primarily in the area of the reveals at the entrance openings. The different types of used brick bonds differ (1) in the amount of bricks in one raw, (2) in the orientation of the bricks (if stretcher or header), and (3) in the width of filled gaps between bricks. Regarding (1), the amount of bricks in one raw, we differentiate between two kinds of walls used in Nyarma, a '3-bricks' and a '2-bricks' bond, which refers to the number of uncut bricks in one layer. Regarding (2), the orientation of the bricks when using a '3-bricks'-bond, two kinds of orientations are used: a) '1 stretcher - 2 headers' and b) '3-bricks' bond type. The '1 stretcher - 2 headers' orientation is used in the main temple, e.g. at the west wall of the *dukhang*, at the outer wall of the inner sanctuary and at temple VIb which is an extension of the main temple towards the east (Fig. 5). At these structures the bond is mirrored layer-wise, always beginning with a stretcher on one surface of a wall. These kinds of walls show earth filled gaps between the bricks with a width of up to 5 cm on average. Together with these gaps these walls reach the mentioned thickness between 100 cm and 110 cm. The second '3-bricks' bond type which we only know from temple II and at the rear side of temple VIa is by far the thickest (Fig. 6). Its width of up to 132 cm is reached by using a '2 stretchers - 1 header' system with gaps between bricks of up to 16 cm which are filled with earth and river stones.

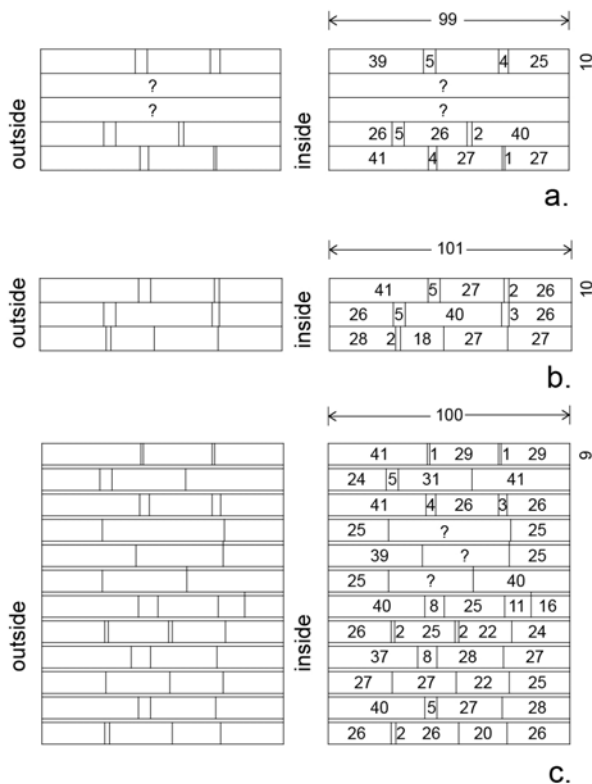


Fig. 5 '3-bricks' bond type. 1 stretcher - 2 headers.
a) West wall of the *dukhang*.
b) Outer wall of the inner ambulatory.
c) Temple VIb. All measurements in cm.

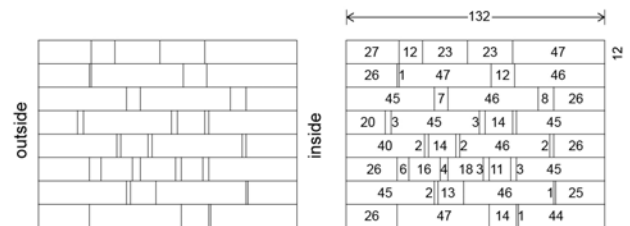


Fig. 6 '3-bricks' bond type. 2 stretchers - 1 header.
a) Temple II.
b) Rear wall of temple VIa.

All other temples follow a '2-bricks' bond type. Most of the walls of this type follow a '1 stretcher - 1 header' system which is mirrored layer-wise to avoid gaps resting above each other. Wall thickness again is generated by different widths of earth and stone filled gaps. At the enclosure walls around the whole compound and also around the main temple, a wall thickness of 74 cm is reached by using rather small gaps of up to app. 4 cm. The situation is similar at temple IIIb with the use of gaps with a width of app. 7 cm being relative regular practice. At temple IIIa and VIa (front wall) a similar system is used but with gaps of up to app. 15 cm, reaching a wall thickness of app. 90 cm and 86 cm, respectively (Fig. 7). Fig. 7d shows the first and third bottom layers completely as stretchers. We find an exception at temple IV where a '3-bricks' bond type (3 headers/no stretcher) is layer-wise changing with a '2-bricks' bond type (2 stretchers) with filling gaps of up to 9 cm. As such, a wall thickness of 94 cm is reached (Fig. 8). The finding of this system, which is defined by rhythmically variations of '3-bricks' and '2-bricks' bonds, and the knowledge gained from observing the adjustment of the width of walls by leaving spaces between bricks, should be an important focus of further research on early Western Himalayan adobe structures. This method also reduces effort in the production of bricks.

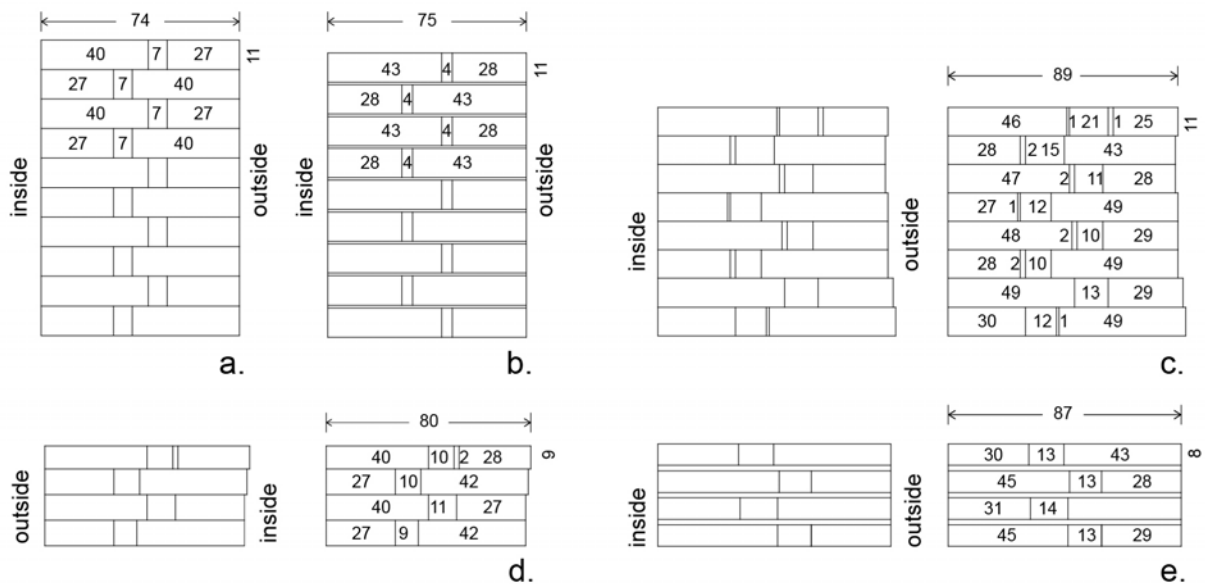


Fig. 7 '2-bricks' bond type. 1 stretcher - 1 header. a) Temple IIIb. b) Enclosure wall of the whole compound. c) Temple IIIa. d) Enclosure wall of the main temple. e) Front wall of temple VIa.

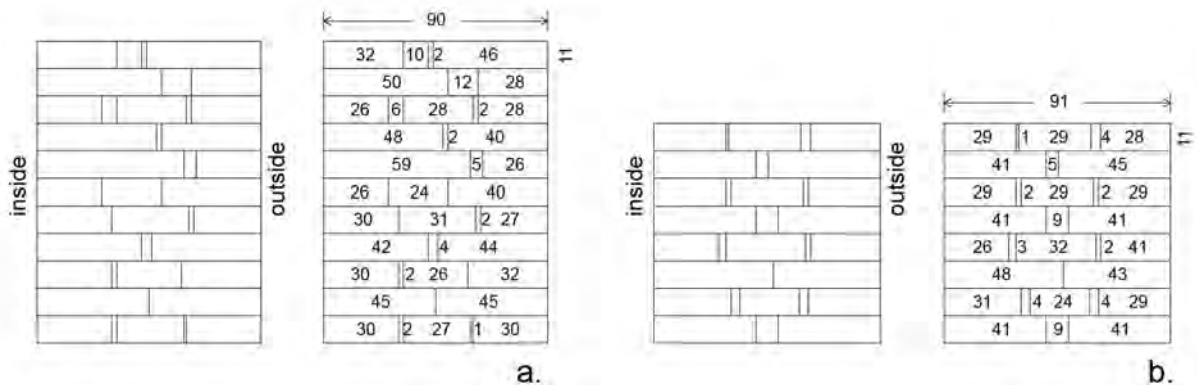


Fig. 8 '3-bricks' changing with '2-bricks' bond type. Temple IV. a) left reveal. b) right reveal.

2.3. Tapering and stabilizing adobe brick walls

Bearing joints are generally made with an earth mortar of up to 2.5 cm. Butt joints are gaps filled with earth or river stones with a width up to 15 cm. This method allows for the regulation of the thickness and length of the wall, and by this its inclination. This method is applied across and also along the wall, as seen at the western facade of temple II with a layer of stretchers alternating with a layer of headers (Fig. 9). A survey of the different inclinations provided an interesting result. Contrary to common knowledge, which states that Himalayan walls are primarily inclined along the outer surface, at Nyarma we also find inclinations along some of the inner surfaces, and at other sites a slight projection inwards is observable. At first glance this tapering seems to be either arbitrary or caused by a setting of the wall but this would have generated much more cracks along the corners. Finally, the hypothesis is – probably to counteractive settings and deformations – that different inclinations were chosen. In Fig. 2 the projecting inclination of walls is marked on the side of the wall projection with “P”.

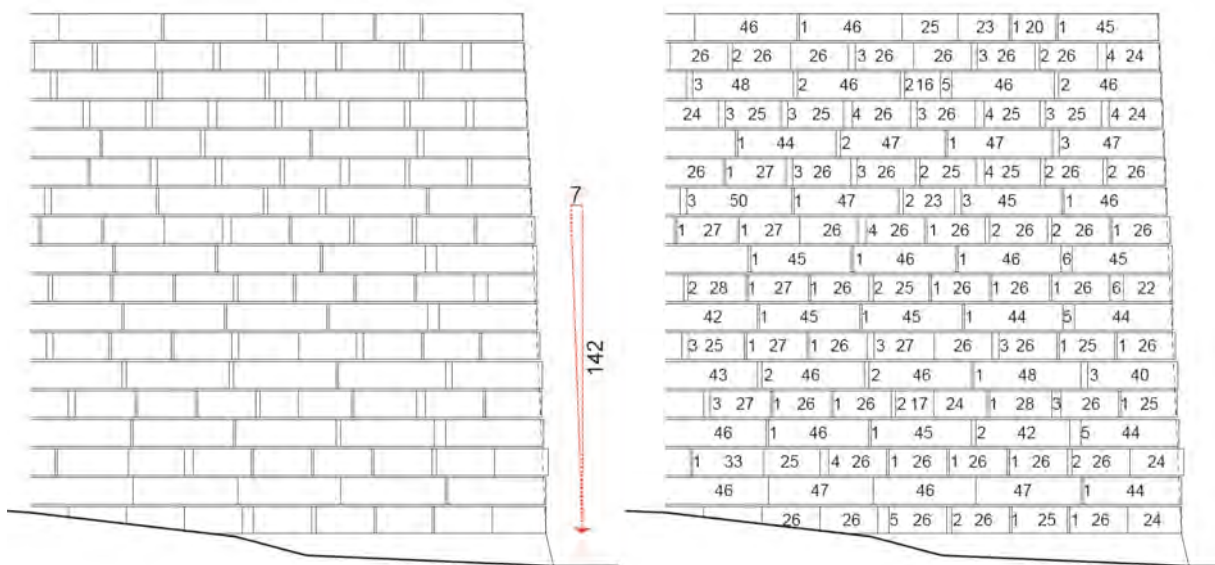


Fig. 9 South-west corner of temple II. Tapering of the wall.

At the main temple the outer surface of the walls around the inner ambulatory is sloped at app. 1° similar to the outer surface of the *cella* (except for its eastern wall) and to the outer surfaces of the *dukhang* walls. The inner surfaces of the walls are straight, however in the *dukhang*, the north, east and south, walls project inwards while the west wall, which borders the west located inner ambulatory, is again sloped. This is according to the sloping of the outer walls of this ambulatory and contrary to the *dukhang*. At temple IIIa all walls are sloped along the outer surface but project inwards. At temple IIIb several of the outer and inner surfaces are sloped. At temple IV also the inner surfaces of walls are sloped by app. 1° and the east, south and west walls are sloped along their outer façade by up to 2°. Again, temple II shows an exceptional feature with a relative continuous strong sloping of up to 2° along all the outer surfaces and three inner surfaces projecting inwards. This is the first finding of this kind that walls are not just tapering along the outside but also along the inside or that they show an inclination, most probably for static reasons.

For stabilization of walls, besides the method of sloping, the inlay of horizontal wooden beams into the walls is seen at several early Himalayan structures such as the early core of the Khorchag monastery in West Tibet, also founded in 996 AD. In Nyarma we observe a timber lacing only at temple VIa. This method seems not to have been applied on a wider scale at Nyarma. Specific wall joints are an interesting finding in regards to the strengthening of walls. Exemplarily in the accessible niche of temple IV, the two walls

which laterally touch the *cella* wall do not show a joint of any kind (Fig. 10) – a method which we also know from rammed earth constructions in the Himalayan region which enable movements within the building (Feiglstorfer 2005: 70, 71).



Fig. 10 Temple IV. Side niche without a brick bond to the adjoining cella structure.

CONCLUSION

The material which is still in use for the production of adobe bricks in close vicinity to the temple site matches in its mineral and grain size properties with the original material used at the temples of Nyarma. With this result it also becomes clear that traditions in the use of particular material as raw material for the production of bricks has remained the same over the last thousand years. It is further obvious that the question of how to limit distance for transport has always been an important matter. It can also be stated that the raw material used for the production of adobe bricks was chosen in such a way that processing without sieving or mixing was possible, i.e. minimizing the effort for production.

The walls at Nyarma are built as a '3-bricks' bond type and '2-bricks' bond type, with stretchers and headers arranged in a particular system. The first and much more elaborate bond type is related to the main temple and again as specific for temple II. We observe the use of two different brick sizes, one with a size of up to app. 40 cm at temples I and IIIb, and a second brick size with more than 40 cm up to app. 49 cm (app. 45 cm in average) at temples II, IIIa and IV. Due to several variations of brick sizes within the monastery compound, a particular proportional system for brick sizes is not currently stated.

Categorization according to brick size matches with a categorization based on different mineral properties. This emphasizes the hypothesis that for the structures of these groups, slightly different types of raw material and different approaches in processing bricks were made that point towards distinct periods of construction. In particular temple II stands out with its missing plaster, the thickest walls, a particular brick bond and also the biggest continuous inclination of the sloping walls. Wooden inlays were not common. For strengthening walls against movements inwards but also outwards, tapering walls were erected, and at particular positions within structures, walls were not joined with each other.

References:

Devers, Quentin (2014). *Les fortifications du Ladakh, de l'âge du bronze à la perte d'indépendance (1683–1684 d.n.è)*, doctoral thesis, Paris, pp. 88–92.

Feiglstorfer, Hubert (2008). *Archaeological Buddhist sites in the Indian Himalaya: A study on the methods of construction*, poster presentation, 2008, Bamako, Mali.

Feiglstorfer, Hubert (2011). *Buddhist Architecture in the Himalayas*, doctoral thesis, Vienna.

Feiglstorfer, Hubert (2016. In print). "On the Architecture of the Buddhist Temple Complex of Nyarma". *Early West Tibetan Buddhist Monuments: Architecture, Art, History and Texts*. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 33 pages.

Feiglstorfer, Hubert (2015). „The Burial Mounds of Tibet. Layout – Construction – Material”. *Die Hügelgräber von Zentraltibet [The burial mounds of Central Tibet]*, unpublished paper, ISA/ÖAW Institute for Social Anthropology/Austrian Academy of Sciences, Vienna, online: <http://www.oeaw.ac.at/tibetantumulustradition/de/startseite/>.

Howard, Neil (1989). "The Development of the Fortresses of Ladakh c.950 to c.1650 A.D.", *East and West*, vol. 39, n°1–4, 217–288, 19.

Biography

Hubert Feiglstorfer is an architect and associated scientist at the Institute for Social Anthropology of the Austrian Academy of Sciences in Vienna. He teaches in the fields of building history and building research at the Vienna University of Technology and earth building research at the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna. He is member of ICOMOS-Austria and board member of ISCEAH.



Le pisé aux Etats-Unis autour d'une étude de cas : le couvent des Ursulines de San Antonio au Texas

Elsa RICAUD, Grégoire FERRAND

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé

A partir d'une enquête de terrain de six mois, menée en 2012-2013 dans plus de vingt états des Etats-Unis, l'auteur pose les bases d'un premier inventaire des techniques de construction en terre crue de cet état-continent, en proposant notamment une cartographie et un glossaire illustré des techniques identifiées, dans la lignée du travail déjà initié en Europe, et ce dans un souci de cohérence et de comparaison à l'échelle internationale.

Cet article présente les grandes lignes des résultats obtenus dans le cadre de cette étude, située à la rencontre de plusieurs disciplines telles que l'histoire des techniques et l'histoire socio-culturelle et propose, dans la lignée d'une série d'articles consacrée à la présentation d'études de cas, celui du pisé français aux Etats-Unis, à partir d'un monument-clé, le couvent des Ursulines de San Antonio au Texas (1851).

Mais bien au-delà d'un simple inventaire, il s'agit également, à partir de la mise au jour inédite d'un certain nombre de sites et techniques hybrides témoignant du métissage des cultures précolombiennes, africaines et européennes, de remettre en question certaines aires historiques et culturelles jusqu'ici établies et de réhabiliter l'apport réel, dans ce domaine, de certaines minorités.

Introduction

Depuis 2012, grâce à un partenariat franco-américain entre le Richard Morris Hunt Prize et une bourse du Labex AE&CC, l'auteur a développé un projet de recherche sur le patrimoine en terre crue aux Etats-Unis. Cette étude se base sur une enquête de terrain de six mois, menée dans plus de vingt états de ce pays-continent.

L'approche retenue est volontairement large d'un point de vue chronologique et géographique, afin d'embrasser l'extraordinaire variété des techniques présentes sur ce territoire. L'analyse se situe à la rencontre entre l'histoire des techniques, l'ethnologie et la sociologie. L'objectif est double :

- écrire ce que les Américains appellent une « history from below », c'est à dire une histoire basée sur les minorités, les flux migratoires, les témoignages du quotidien et dans le cas présent, l'usage d'un matériau ;
- établir les outils nécessaires à la mise en place d'un inventaire, en partenariat avec d'autres institutions, et ce dans la lignée du travail déjà réalisé en Europe par le projet Terra Incognita, dans un souci d'établir une base de données cohérente à l'échelle internationale.

L'étude de terrain, les interviews des habitants et professionnels, les relevés des bâtiments, les recherches en archive faites sur place, ont fait l'objet d'un mémoire de synthèse (Ricaud 2014) proposant une cartographie et un glossaire illustré des différentes techniques identifiées. Cette étude a également permis de mettre au jour plusieurs sites en terre crue dont l'existence était mal documentée, voir oubliée : maisons en torchis du XVII^e siècle à New York, maisons en pisé réalisées par les Chinois pendant la Ruée vers l'Or (Ricaud 2013), habitat en brique d'adobe antérieur à la colonisation espagnole (Ricaud 2015),...

L'objet de cet article est de présenter une nouvelle étude de cas, celui du pisé français, autour notamment d'une étude de cas : le couvent des Ursulines de San Antonio au Texas.

1. LE PISE AU ETATS-UNIS

1.1 Une technique disséminée et indépendante des aires culturelles

La cartographie des techniques de construction en terre aux Etats-Unis est claire : les édifices en pisé se distinguent des autres techniques par leur caractère disséminé, dans les régions aussi bien désertiques que tempérées et continentales, à la différence par exemple des adobes (sud-ouest), des mottes de terre (Grandes Plaines) ou du tabby¹ (côte sud-est) (fig. 1). L'explication est simple, comme le montre le glossaire illustré :

- le pisé nécessite une matière première rudimentaire, la terre utilisée pouvant être riche en gravier et le bois de coffrage pouvant être remplacé par un matériau de substitution,
- sa mise en œuvre reste climatiquement moins contraignante que d'autres techniques comme les adobes (fig. 2).

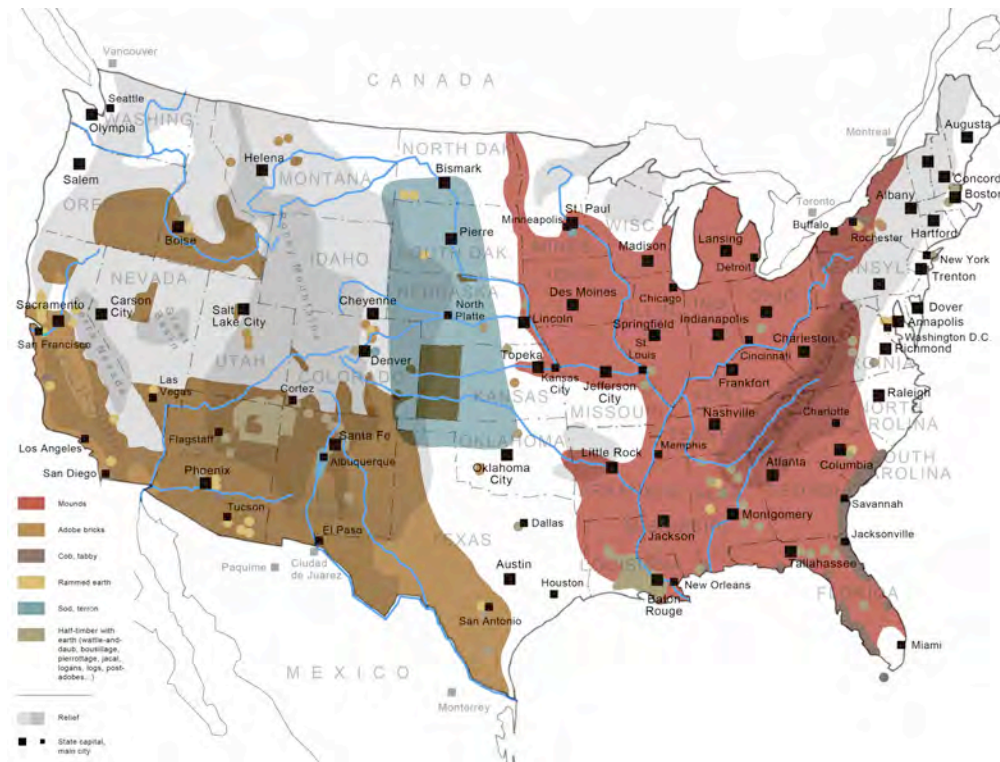


Fig. 1 : Cartographie des techniques de terre crue aux USA (© Ricaud).

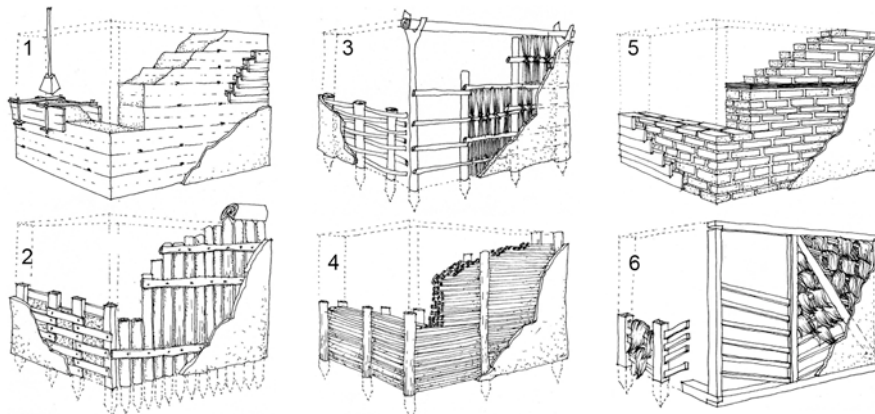


Fig. 2 : Glossaire illustré des techniques de terre crue aux USA, extrait (© Ricaud).

¹ Le tabby est une technique assimilée à la bauge, réalisée à partir de sable ou terre sableuse et de chaux obtenue par calcination de coquillages (huîtres, ...).

Ces exemples en pisé, qui ne sont donc pas propres à une région donnée, ne sont pas non plus, le résultat de la sédentarisation d'individus qui auraient adapté aux Etats-Unis, une technique maîtrisée dans leur pays d'origine. Qu'est-ce qui explique, dans ce cas, la propagation de cette technique ? Qui en ont été les commanditaires ou les « vecteurs » d'importation et dans quel contexte ?

1.2 Les vecteurs de l'importation du pisé

Les plus anciens exemples de pisé identifiés aux Etats-Unis remontent aux années 1810, et sont l'œuvre des colons britanniques. L'usage du pisé en Grande-Bretagne est assez tardif et fait suite à la traduction des écrits de François Cointeraux par l'architecte Henry Holland, dans les années 1790. En 1806, l'effet de mode gagne pour la première fois la communauté anglo-américaine, grâce à la publication de Stephen W. Johnson. Le pisé, jusque-là réservé aux constructions rurales et agricoles, se démocratise, touche une population plus urbaine et s'applique à de nouvelles typologies (maisons, écoles, fortifications). Cette première dynamique lancée par Johnson est relayée dans les années 1820-1850 par une série d'articles publiée dans les revues *The Economical Builder* et *The American Farmer*, mettant en exergue la durabilité et le faible coût du pisé (Cody, 1985). Les réalisations américaines s'appuyant sur ces écrits concernent d'une part des micro-communautés de mineurs en Californie et dans le Nevada (maison de Frank Shorty Harry à Ballarat, 1896) pour des raisons évidentes de précarité et de pénurie de matière première disponible sur ces territoires. L'exemple le plus abouti et caractéristique d'une appropriation du pisé par une population aisée, qui n'hésite pas à employer un vocabulaire architectural recherché, est la plantation de Bremo en Virginie, édifée en 1816 par le général John Hartwell Cocke. Citons également l'église néo-gothique en pisé de Stateburg en Caroline du Sud (fig. 3), construite en 1850 par l'architecte Edward C. Jones, ainsi que les six bâtiments néo-classiques en pisé de la plantation Borough (1821) (fig. 4), également à Stateburg, commandités par William Wallace Anderson. D'autres maisons, comme la Zabriskie-Schuler House (1847) de Westwood dans le New Jersey ou la Potter House (1846) à Bellevue dans l'Iowa, sont autant de témoins d'initiatives ponctuelles, éloignées les unes des autres et qui n'ont pour lien de parenté que la littérature spécialisée qui ventait leurs atouts.



Fig. 3 : La Holy Cross Church de Stateburg en Caroline du Sud (© Ricaud).



Fig. 4 : La plantation Borough de Stateburg en Caroline du Sud (© Ricaud).

Tous ces exemples présentent des épaisseurs de mur courantes, comprises entre 45 et 80 cm et des hauteurs de couches de terre d'environ 30 cm de haut (15 cm une fois la terre tassée). Seuls quelques rares cas de pisé stabilisé au ciment Portland, comme dans la maison Wittlesey dans l'état de New York (1821) ou armé de fers à béton, ont permis de réaliser des murs beaucoup plus étroits (entre 17 et 38 cm).

La protection intérieure de ces murs en pisé d'origine britannique était généralement assurée par un enduit sur lattis. A l'extérieur, l'enduit pouvait être lisse ou orné de petites pierres comme à l'église de Stateburg.

Un autre berceau de la culture du pisé américain est à chercher du côté de l'immigration chinoise au moment de la Ruée vers l'Or des années 1850, lorsque de nombreux ouvriers asiatiques furent amenés à quitter leur pays pour construire des voies de chemin de fer (Ricaud, 2013). Les villes de Dutch Flat, Fiddletown et Calico en Californie, comptent les exemples les plus parlants.

Pour ce qui est du pisé français, le plus ancien exemple identifié est un ensemble d'une trentaine de maisons des années 1820-1830, réalisé dans le comté de Monroe près de New York (Dassler, 1990), par des maçons originaires d'Alsace-Lorraine venus construire le canal Erié et qui se sont ensuite reconvertis. Le pisé, s'il n'est pas une technique couramment utilisée en Alsace-Lorraine, est en revanche l'un des savoir-faire les plus représentatifs de l'Allemagne de l'ouest et on peut donc imaginer un transfert de connaissances par ce biais-là. Toujours est-il que le pisé du comté de Monroe y est maîtrisé, parfois sur des bâtiments à plusieurs niveaux, comme à la maison Wittlesey de Perington (1821-1836).

Le couvent des Ursulines de San Antonio au Texas, construit en 1851 par l'architecte français François Giraud et l'entreprise de Jules Poinard, qui fait l'objet de la seconde partie de cet article, est un autre exemple de transposition d'une technique via la migration des hommes du bâtiment, cette fois-ci associée à un héritage lyonnais.

Tous ces exemples montrent que la construction en pisé relève plus, aux Etats-Unis, de l'entreprise individuelle, que d'un effet de masse. Les causes ayant poussé les commanditaires à utiliser cette technique sont essentiellement financières ou liées à une pénurie de matériaux, mais très rarement à un choix esthétique. On notera d'ailleurs une inversion totale de cette tendance de nos jours, incarnée par des architectes comme Rick Joy, puisque le pisé brut de décoffrage constitue l'une des techniques les plus demandées sur les chantiers de maisons individuelles luxueuses de la Silicon Valley ou du désert d'Arizona.

2. LE COUVENT DES URSULINES A SAN ANTONIO (TEXAS)

2.1 San Antonio, un « melting pot »

San Antonio est une ville de l'état du Texas, située à quelques 200 km de la frontière mexicaine et du Golfe du Mexique.

L'urbanisme de la ville (plan quadrillé) et son architecture témoignent d'un passé chargé des cultures précolombienne, espagnole, mexicaine, française et texane. Il est fait mention dans la littérature relatant les premières décennies du peuplement de la ville, des forêts de pins abondantes, de la terre argileuse en quantité sur place (la ville est traversée du nord au sud par la *San Antonio River*) mais d'une relative rareté de pierre exploitable, contraignant les constructeurs à la faire acheminer depuis d'autres régions (Edwards, 1979 : 36).

La pratique de la construction en terre crue peut être considérée, au Texas, comme un double héritage : à la fois celui des tribus précolombiennes locales (les Tigua, les Jornada Mogollon...) qui utilisent le « jacal »² et plus rarement la bauge, mais également celui plus tardif des colons espagnols, qui ont massivement importé la culture de la brique d'adobe dans le sud des Etats-Unis (Ricaud, 2014 : 108-131). Que reste-t-il de ces constructions en terre texanes ? Une importante quantité d'édifices en adobe comprenant les missions espagnoles pour la plupart reconstruites au XIXe siècle (Socorro, Ysleta del Sur Pueblo, San Elizario), des villes entières telles que Valentine ou Marfa et des sites fortifiés plus isolés (Fort Davis, Fort Stockton). A San Antonio plus précisément, il ne subsiste à peine que quelques vestiges archéologiques de jacal précolombien, retrouvés récemment le long de la *San Antonio River* et datés au carbone 14 des années 3 850 avant J.C.³, ainsi qu'une série de jacal du XIXe siècle en ruine à la sortie de la ville et quelques édifices en adobe (le Palais du Gouverneur de 1722, la maison Yturri Edmunds de 1860, la maison Navarro des années 1850 et la maison Villita).

Au XIXe siècle, l'usage de la construction en terre s'est perpétué et même élargi à d'autres techniques comme celle du pisé, sous l'influence notamment de l'immigration française.

2.2 L'apport de la culture constructive française au XIXe siècle

La région de San Antonio était limitrophe de la Basse-Louisiane, ancien empire colonial français : toutes deux furent donc fortement concernées par les implantations de missionnaires catholiques, venus notamment de France et vecteurs de diffusion de la culture française, dans bien des domaines. Celui de la construction en est un, et l'Académie des Ursulines, aujourd'hui plus connue sous le nom de « School of Arts », en est le témoin.

Dans le second quart du XIXe siècle, des rapports étroits existent en effet entre les communautés et ordres religieux catholiques français du bassin lyonnais - région connue pour être l'une des plus dynamiques dans le domaine de la construction en pisé - et leurs missionnaires de la Nouvelle-Orléans et de San Antonio. L'exemple de la naissance du couvent des Ursulines est explicite. Le clergé local (les évêques Blanc puis Jean-Marie

² Le jacal est une sorte de torchis appliqué sur des pieux resserrés et enfoncés dans le sol.

³ Information transmise par Steve Tomka, directeur de la *University of Texas* à San Antonio.

Odin, tous deux missionnaires français) ont œuvré pour l'implantation des catholiques à San Antonio, notamment par la création d'un noviciat.

La décennie 1840-1850 est marquée par une pauvreté certaine. Dans ce contexte morose, la nécessité d'une institution catholique stable devient alors prépondérante pour l'Eglise locale qui doit également faire face à la montée de la concurrence des écoles protestantes. L'ordre des Ursulines, implanté depuis les années 1827 à la Nouvelle-Orléans, est appelé pour accomplir cette tâche. Après plusieurs voyages en France, l'évêque Odin parvient à recueillir les fonds auprès des communautés catholiques lyonnaises pour son programme de reconstruction de San Antonio comprenant une église, un hôpital et le noviciat (Pfeiffer, 2001 : 6). L'ensemble de ces protagonistes tisse un lien permanent avec la communauté catholique de San Antonio.

François Giraud, l'architecte choisi par Mgr. Odin pour le noviciat des Ursulines, est une parfaite illustration des échanges de compétences liés à l'immigration catholique. Né de parents français et ayant étudié en France avant de devenir un personnage important de l'histoire de San Antonio, puisqu'il en devint maire, il est possible qu'il ait connu Mgr. Odin en France dans la période précédant son arrivée au Texas en 1847, même si les circonstances précises de cette relation restent à affiner.

Il existe également autre type d'échange des savoir-faire, non directement lié au terreau religieux : l'exemple du village communautaire de Castroville. Cette ville fut fondée par Henri Castro, immigré français, à quelques vingt-cinq miles de San Antonio. Entre 1844 et 1846, il organisera la venue de soixante, puis six-cents familles alsaciennes, françaises et allemandes, habiles dans les domaines de la construction et de l'agriculture (Edwards, 1979 : 18 et 38). Ces pionniers participèrent ainsi à la diffusion des techniques constructives de leur région d'origine. Les relations sont étroites entre cette communauté et l'Eglise puisque le père Dubuis sera assigné par Mgr. Odin comme prêtre de leur paroisse avant de s'occuper du noviciat des Ursulines en 1851 (Pfeiffer, 2001 : 7 et 18).

Troisième et dernière hypothèse concernant les éventuelles influences ayant conduit l'architecte à construire son couvent en pisé : on note que François Giraud est né dans la même ville que l'architecte Edward C. Jones, auteur de l'église en pisé de Stateburg, construite en 1850 soit un an à peine avant le couvent des Ursulines. S'agit-il d'une coïncidence ? Les deux hommes se sont-ils connus ? La question reste ouverte, mais l'hypothèse fortement probable.

Il est donc aisé d'imaginer que les chantiers de construction, comme celui du couvent des Ursulines, aient été le lieu de mutualisation des savoir-faire entre F. Giraud, peut-être influencé par des confrères de Caroline du Sud et un maître d'ouvrage très connecté à la région lyonnaise, et des ouvriers et travailleurs immigrés de l'Est de la France.

2.3 François Giraud et Jules Poinard : vecteurs de l'importation du pisé français aux Etats-Unis

Les principaux acteurs du chantier des Ursulines sont François Giraud, ingénieur, et Jules Poinard, ingénieur et entrepreneur, spécialiste de la construction en terre.

François Emile Eugène Giraud (1818-1877) est né à Charleston en Caroline du Sud, de parents bordelais. Il est sorti diplômé de métallurgie en 1842 de l'Ecole Centrale des Arts et Manufacture de Paris, avant de retourner aux U.S.A. enseigner au collège Mont Saint Mary, puis de s'implanter au Texas en suivant son père, alors nommé consul français vers

1845. Il s'installe alors à San Antonio, où il débute comme ingénieur de la ville de 1848 à 1853. Il a notamment élaboré le plan des limites de la ville et de son découpage foncier pour organiser les possessions municipales et l'hydrographie. C'est à cette époque qu'il construit pour l'Eglise catholique, le couvent des Ursulines (1848-1851), l'église Saint Mary (1855) et qu'il restaure la cathédrale San Fernando (1868). En fin de carrière, il est élu maire de San Antonio (1872-1877). Son frère, Théodore Giraud, architecte, a également beaucoup construit pour l'Eglise catholique et notamment pour l'évêque Mgr. Blanc dès les années 1848.

Jules Poinsard (1814-1885) a quant à lui obtenu en 1836 un diplôme d'ingénieur des Arts et Métiers de Châlons-en-Champagne dans la Marne. Arrivé au Texas en 1846, il est connu à San Antonio comme constructeur spécialisé dans plusieurs corps de métier (charpente, maçonnerie, pisé). Il a employé cette technique constructive au cours de son importante carrière, notamment pour le couvent des Ursulines puis à travers tout le Texas et également pour l'armée américaine.

La rencontre entre François Giraud et Jules Poinsard semble s'être produite à Castroville, citée plus haut, puisque l'un a aidé son fondateur et le second y a acquis une maison en 1847 (Pfeiffer, 2001 : 50), l'année précédent le lancement du chantier du couvent.

2.4 Etude de cas : le couvent des Ursulines

Le choix du terrain, sur les bords de la rivière *San Antonio*, s'est fait naturellement dès 1847-1848 lorsque Mgr. Odin décide de lancer la construction de la première école de filles de San Antonio.

Dans une correspondance de cinq lettres entre F. Giraud et Mgr. Odin, sont explicités l'avancement des travaux et les péripéties qui ont jalonné l'édification du noviciat. Y sont également décrits le type de charpente en pin, dont la longueur des bois a déterminé la largeur du futur bâtiment. On y apprend qu'après avoir réalisé les fondations en pierre, les carrières d'Etat semblent refuser à Giraud l'extraction des pierres nécessaires pour les murs, dont le coût était déjà prohibitif. Devant cette difficulté et l'évidence du libre accès à la terre directement disponible sur le site situé au bord de la rivière, Giraud, connaissant la technique du pisé français et son aspect économique, fit appel à Jules Poinsard. Mais malgré la qualité de la terre disponible, la mise en œuvre du pisé prend du retard et le coût de la main d'œuvre pénalise l'avancée du chantier.

En mars 1849, les maçonneries sont d'une « très grande qualité » mais le toit et les dormants des menuiseries y sont intégrés. Il ne manque alors plus que les cheminées, l'escalier, les huisseries et la peinture. Les murs furent ensuite enduits par mesure de précaution, bien que le climat texan soit plutôt favorable à la bonne conservation du pisé. En novembre 1851, la construction est achevée.

Le projet dessiné par F. Giraud est extrêmement rationnel et traduit bien son souci d'économie de moyen. De plan massé rectangulaire (21 x 7 m) (Fig. 5), l'édifice est haut de deux niveaux de 3.50 m chacun et atteint presque 10 m au faîtage. Il s'organise de part et d'autre de l'escalier central qui relie les salles de cours du rez-de-chaussée aux dortoirs du premier étage. Ses façades sont symétriques et épurées. La coursive semble avoir été ajoutée postérieurement, comme en témoigne la distribution des pièces et les clichés de l'H.A.B.S. des années 1960 (Fig. 6).

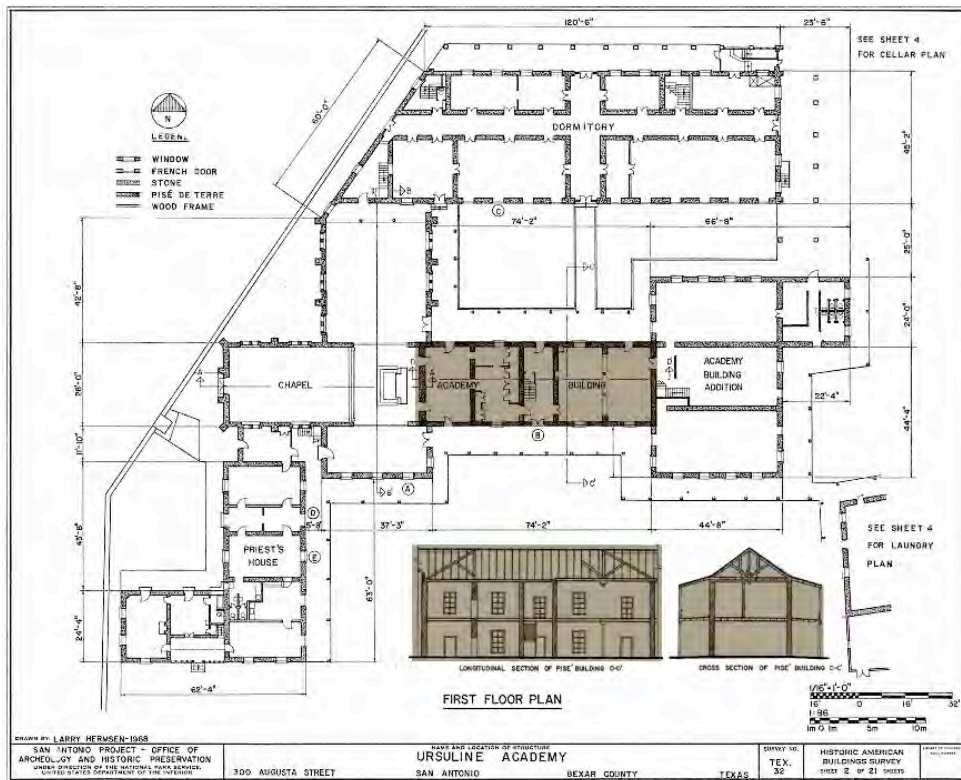


Fig. 5 : Plan du couvent des Ursulines de San Antonio au Texas (© H.A.B.S.).



Fig. 6 : Le couvent des Ursulines dans les années 1960 (© H.A.B.S.).

Les murs en pisé du couvent, d'une épaisseur de 51 cm, ont été élevés sur des fondations en pierre. Il n'est aujourd'hui possible d'observer ces murs en pisé que par une fenêtre archéologique ménagée dans une allège de baie au rez-de-chaussée, et dans une vitrine du couvent, dans laquelle est exposé un fragment de mur (Fig. 7 et 8). On y observe une terre assez argileuse, contenant naturellement des nodules de chaux que l'on appelle localement "caliche" et qui caractérisent une grande partie de l'assiette géologique affleurante du sud et du sud-ouest américain. Ces particules de chaux réagissent principalement avec une terre argileuse : il se crée alors une réaction pouzzolanique entre la silice de l'argile et le calcium de la chaux. Les silicates de calcium ainsi formés

permettent une meilleure résistance à l'eau et aux risques de tassement liés au poids propre du bâtiment, qui est ici particulièrement important puisqu'il s'élève sur deux niveaux. On peut ainsi atteindre de très bonnes résistances à la compression, une fois que cette dernière a fait sa prise, c'est à dire environ deux ans après la construction du bâtiment.

On remarque également sur cette fenêtre archéologique, que les graviers nécessaires à la mise en œuvre du pisé, sont concentrés dans le cœur du mur, ce qui permet d'obtenir une surface du pisé assez serrée, fine et soignée (fleur de pisé).



*Fig. 7 : Couvent des Ursulines :
détail du pisé (© Ricaud).*



*Fig. 8 : Couvent des Ursulines :
détail du pisé (© Ricaud).*

Dès 1854, le père Dubuis emploie F.C. Schmitt pour étendre le bâtiment sur la base des dessins de F. Giraud en ajoutant une cuisine, une chapelle, des classes et des dortoirs supplémentaires (Pfeiffer, 2001 : 23), le tout bâti en pierre et entouré d'une coursive couverte servant à la fois de circulation et de protection du corps de bâtiment en pisé. Se succéderont de nombreux ajouts et extensions, en pierre ou bois (dortoir en 1865, trois autres bâtiments en 1866, chapelle en 1868, bâtiment dit de l'Académie en 1910).

En plus des fortes sécheresses des années 1950, qui ont occasionné de nombreuses fuites et fragilisé certains édifices, un vaste incendie emporta en 1967 une partie de ces extensions, sans toucher pour autant au corps de bâtiment originel en pisé. Vers 1965, au moment où les Ursulines déménagèrent vers le nouveau centre universitaire de San Antonio, le bâtiment se trouvait dans un état nécessitant des travaux de restauration. C'est finalement la « San Antonio Conservation Society » (S.A.C.S) qui en fit l'acquisition partielle en 1965. Une importante campagne de restauration vit le jour. Elle débuta en 1968 avec le relevés des constructions par l' H.A.B.S. et s'acheva dans les années 1973 pour y accueillir l'actuelle « School of Arts ».

Conclusion

A une échelle globale, l'étude menée sur le patrimoine en terre crue des U.S.A. a permis l'élaboration d'outils inédits (cartographie, glossaire illustré) qui permettent de poser les bases d'un futur inventaire. Ce dernier, s'il se veut exhaustif ou au moins représentatif, devra nécessairement s'appuyer sur une institution fédératrice, en collaboration avec les garants de la conservation du patrimoine de chaque état américain (les *State Historic Preservation Officers* notamment) et en collaboration avec les équipes européennes de Terra Incognita qui ont déjà mené sur leur territoire un inventaire similaire, et ce toujours dans l'optique d'une connaissance cumulée. Tel est notre premier objectif pour les années à venir.

Cette étude a également permis de dresser, parmi les quelques 400 sites visités pendant l'enquête de terrain, une liste sélective de dix monuments en terre emblématiques, considérés comme étant dans une situation critique, du fait de leur état de conservation, ou des menaces de démolition qui pèsent sur eux, dans un contexte toujours plus fort de croissance et de densification urbaine (fig. 9). Notre second objectif est donc de mettre à profit notre pratique d'architectes du patrimoine praticiens et de monter, dans les mois qui viennent, une équipe faite de partenaires prêts à soutenir une action de restauration et de mise en valeur de ces monuments dotés à la fois d'une forte valeur patrimoniale, historique et socio-culturelle.



Fig. 9 : Ancien spa de Niland sur la Salton Sea en Californie (© Ricaud).

Références bibliographiques

Cody, 1985 :

Cody, J.W. (1985), *Earthen Wall Construction in the Eastern United States*, Master of Arts, Cornell University, Ithaca, New York State, USA.

Dassler, 1990 :

Dassler, E.L. (1990), *Nineteenth Century New York State Earthen Homes : An Investigation of their material composition*, Master of Science in Historic Preservation, Columbia University, New York, USA.

Edwards, 1979 :

Edwards, E. (1979). *F. Giraud and San Antonio*, The South West Craft Center, San Antonio, Texas, USA, 114 p.

Pfeiffer, 2001 :

Pfeiffer, M.W. (2001), *School by the river*, Maverick Publishing Compagny, San Antonio, Texas, USA, 198 p.

Ricaud, 2013 :

Ricaud, E. (2013), « Earth Heritage in the United States : a « History From Below » », Actes de la 7^e conférence Earth USA, Santa-Fe, Nouveau-Mexique, p.50-57.

Ricaud, 2014 (non publié) :

Ricaud, E. (2014), *Architecture en terre aux Etats-Unis : Hybridation des techniques précolombiennes et coloniales*, Rapport de mission Richard Morris Hunt Prize – Labex AE & CC, Paris, 198 p.

Ricaud, 2015 :

Ricaud, E. (2015), « Pre-Columbian and Early Colonial Adobe Bricks in the United States : a Tool in the Service of Dating Historic Buildings », Actes du 5^e International Congress on Construction History, vol. 3, Chicago, Illinois, USA, p. 187-196.

Fonds d'archives

Archives de la bibliothèque de l'Ecole Centrale des Arts et Manufacture de Paris.

Archives de la médiathèque de l'Ecole Supérieure des Arts et Métiers de Châlons-en-Champagne.

Archives de l'Historic American Building Survey (H.A.B.S.).

Archives du South-West Craft Center.

Biographie

Elsa Ricaud

Elsa Ricaud est Architecte du Patrimoine, historienne de l'architecture et enseignante à l'Ecole de Chaillot. Elle est associée de l'agence d'architecture Sunmetron et consacre une partie de son activité à la recherche sur le patrimoine en terre crue, depuis qu'elle a obtenu en 2012 le Richard Morris Hunt Prize.

Grégoire Ferrand

Grégoire Ferrand est Architecte du Patrimoine et associé de l'agence d'architecture Sunmetron, au sein de laquelle il participe au développement des recherches sur la terre crue.



Adaptation history of an earth-built World Heritage

Melinda HARLOV-CSORTÁN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Summary

Hollókő, the first Hungarian World Heritage site since 1987, is a perfect case study to investigate the changes in the theory, method and practices of earth-built architecture protection. The new status of the settlement led to Hungary's acknowledged status within the international cultural heritage community. Furthermore, it brought new focus on cultural heritage management at the Hungarian government, as well as new economic benefits and lifestyle for the locals. Numerous scholarly and governmental reports were published about Hollókő in the last quarter century. These are critically analyzed to point out some elements of interconnectedness that must be reevaluated and used for future planning. The change in the use of and perception about earth-built architecture led to its heritage status, and the intensive monument protection activities catalyzed the modification among others in the locals' common identity. This site is also a good case study to illustrate the changes of focus from the Venice Charter to the Nara Documents and its most current additions. The modified professional requirements, the locals' continuously forming responses and the necessary preservation and adaptation actions on the protected buildings, create a very vivid and complex picture that can serve as example for future cases as well.

Introduction

Hollókő is located in the mountains of Northern Hungary far from major roads or important cities. The village that was first mentioned in the early 14th century consists of elongated parcels with both farm and residential buildings. Houses have earthen or mud walls supported by wooden purl in structure and are covered with reed or tiled roofs. They usually show kitchen – room – pantry plain type and have wooden porches too (Wiebenson 1998) (Fig. 1). The international reputation of Hollókő motivated the formation of numerous other organizations focusing on the protection of earthen architecture in Hungary (Hollókői civil szervezetek 2011). It also led to many national and international specialized professional conferences, such as the Békés Vernacular Architectural Conference every second year (Népi Építészeti Tanács 2014), and meetings for the establishment of the Vernacular Architecture Charter (ICOMOS 1999). Besides all the positive outcomes, the perception of the settlement and its transformation has changed drastically throughout the decades. Past processes can be highly criticized within our contemporary notions. The changing needs of the locals, which have led to the formation of a new village and the depopulation of the World Heritage site, are just one striking consequence. The attention seems to have shifted from culture and protection of heritage, to tourism and leisure as the Facebook category of the settlement indicates (Fig. 2). Accordingly, the village is a perfect example of continuous transformation due to diverse time periods and the shifts of emphases in UNESCO World Heritage management.



Fig.1 The village from bird's-eye view <http://bagyinszki.eu/archives/186>

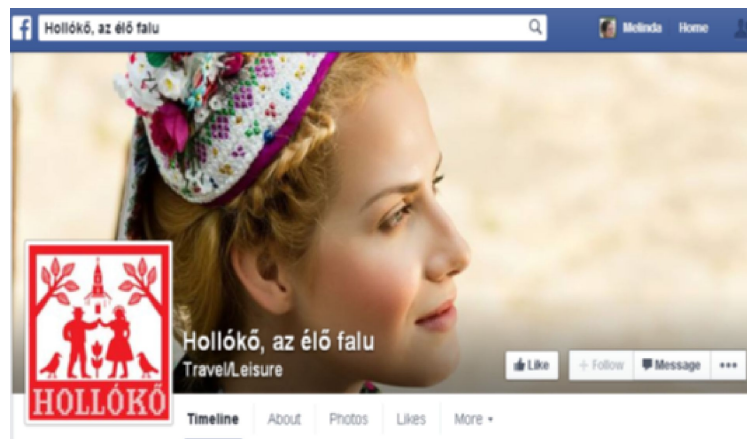


Fig. 2 Facebook front page of Hollókő <https://www.facebook.com/IloveHolloko?fref=ts>

1. DIFFERENT FUNCTIONAL REUSES OF EARTH-BUILT HERITAGE AT DIFFERENT PERIODS

1.1. Before the protection processes, what has been lost completely?

It is important to state that when monument protection started in the 1950s, the village was at the brink of its existence. Its population had dramatically decreased, it lost its identical prefecture status and was a co-settlement with the neighboring Nagylóc village (N. Waigand 2013). Viola Tomori conducted research there in the 1930s that has been published multiple times, including before the settlement received its world heritage status. Tomori speaks about the inhabitants, who live in symbiosis with nature and have no connection with contemporary human world (Tomori 1986). Such a description interprets the settlement and the locals as ancient and almost pre-civilized. Furthermore, Zoltán Szabó described the village in 1930, stating that “the village exists isolated within its surrounding as the nut or the pearl in its shell” (Szabó 1986). This image alludes to the timelessness of the national narrative (Hall 1997).

The re-establishment of this lost, pure state has reached total sovereignty. Building structure and hand craft motifs that were evaluated previously as a combination of regional characteristics are seen today as an identical and typical motif system of Palócz culture, the ancestors of the locals, which are an already integrated Slovakian minority, or even of Hollókő (Ács 1990). The traditional Palócz vernacular architecture trends (ICOMOS 1987) that are mentioned in the World Heritage proposal dated back to the 18th - 19th century, when this minority was a unique and distinct group. This changed in the late 20th century when the settlement achieved its new status of international acknowledgement, and the named minority had already integrated into mainstream society (Magyar Néprajzi Lexikon 1977-1982). Moreover, the entire village was completely burnt down in 1909, and only the structure and the characteristics point back to the pre-20th century period (Koris 1992). Accordingly, the current status of Hollókő cannot be identified as original Palócz vernacular architecture (Fig. 3).



Fig. 3 World Heritage nomination plaque the author's photo

1.2 monument protection and the impact of Socialist ideology

After the monument protection specialists identified this area, they enlisted the territory in official monument- and protected area lists. First it was mentioned among the monuments of the county (1954), then a management plan formulated about the protection of the buildings that led to the official status of group of monuments in 1979. Due to the political and policy circumstances of that period (1950s - 1980s), the state first had to buy these buildings in order to be able to protect them. Hollókő's successful protection was the result of the fruitful cooperation between protection and policy professionals (Dobosyné 2013). Continuity and tradition were ensured by the protection of the buildings and Ferenc Mendele's ideology behind it. Mendele (1934-1994) was an Ybl-awarded architect, conservationist, and the former director of the National Inspectorate of Historic Monuments. He held and adapted the ideology that every function has to be present within the monument buildings (Mendele 1969). Along these lines, extra elements that were added later have not been counted as mistakes or attacks on authenticity. For example, a Hopper window was added later on the roof of a house that originally served as the post office. Later this building became post museum and hostel and to fulfill these functions the Hopper window was seen acceptable. Part of the justification for the newly added element was that it has an authentic look from outside as a garret window made by tin. (Magyar Építőipar 1991) (Fig. 4). Not just the houses, but also the natural surroundings of the village were protected in order to save the traditional agricultural methodologies still in used at that time (Mendele 2013). Similarly, the management of the Office for the Protected Landscape Area of Hollókő has still required an old, traditional method of gardening (small plot gardens) that is not evaluated as an effective or sustainable methodology. This prohibited entirely any construction on the surrounding hillsides in order to ensure the living museum or mausoleum ideas of the settlement (Kiss 2013).

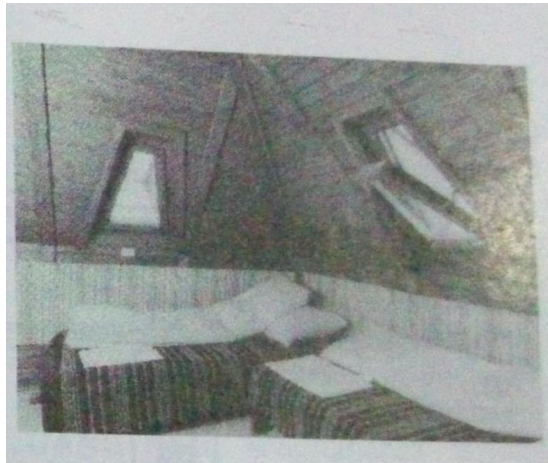


Fig. 4 Hopper window on Postal Museum and Hostel Magyar Építőipar magazine

Both types of activities were carried out mainly by scholars and professionals in the field of cultural heritage to take care of Hollókő. The main target groups: tourists, pioneer groups and artists have to be mentioned too. These communities were envisaged to use the advantages of the conserved monuments, by transforming them to motels, artists' residencies and weekend houses. The conserved monument buildings went through a transformation in function due to the existing "socialist monument policy" (Galambos and Román 1967), which identifies the main aim of the protection steps as the transformation of the monument into a venue for cultural educational tasks of Socialism. In order to draw the attention of these targeted groups to Hollókő, a national campaign was launched. As a part of that, the female chorus of the village participated and won the nation-wide, televised art talent contest in the 1970s (Farkas 2013).

1.3 after the change of regime

After 1989, the scholarly acknowledgement and appreciation of the Hungarian monument protection steps, realized in Hollókő, have continued. This also helped to strengthen the role of conservators both within the country and internationally as well. The higher education of this profession, as well as the necessary structure of institutions nation-wide and the necessary legal frameworks (missing laws and regulations), was smoothly formulated after the political change of the country. Similarly, the success of Hollókő was undiminished. A remodel of a house from Hollókő, with original furniture in it, was exhibited at the 20th Anniversary of the World Heritage Convention in 1993 at the UNESCO head quarters in Paris. This was a representation of the village that illustrated Hungary's architectural values and its folk art, as well as that of all Central Europe (Koris 1993). The settlement became a special destination, a kind of exotic attraction for foreign tourists, to whom the scenery and the folk programs were successfully offered (Örsi 2013). Also, partly due to the same aim, the monument houses and accordingly, the entire old village, turned into a theatrical stage. The street of the Old Town has been covered with concrete and electric street lights that have been introduced for the visitors' convenience (Mezősiné 2001).

A more recent social movement called festivity can also be noticed (Gábor 2000). Today, festival after festival is organized in Hollókő. Not only the traditional Easter festival is celebrated (Hollókő Easter Festival 2015), but also diverse events that are organized almost every month. Such events include wine feasts and the celebration of Saint Stephen, which recognizes the first king of the country and the anniversary of the establishment of Hungary (Hollókő's official website). These touristic events are organized not just on the homepage of the settlement, but on various social media channels as well.

Moreover, Hollókő leaves its physical boundaries behind not just with the help of the social media, but also by participating in programs outside the village. They also create their own events outside the settlement, such as press conferences or introductory events in the capital, which is nearly 100 kilometers away (A Centrál Kávézóban mutatkozik be Hollókő 2014). These events represent the shift of importance from the earth-built houses to the intangible elements of heritage, in which the architecture serves only as symbols or metaphors of human activities (Fig. 5).

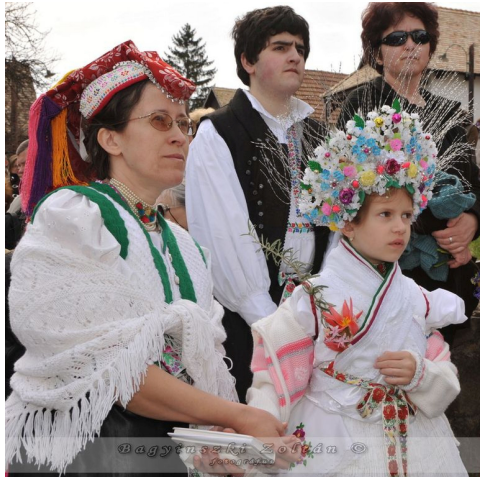


Fig. 5 Festival scene in Hollókő <http://bagyinszki.eu/archives/186>

Globalization, as the leading force of the current time period, has many time opposing effects, as Stuart Hall points out (Massey 2002). If we adapt his notion to Hollókő and see the UNESCO world heritage initiative as a kind of cultural globalizing trend, we can understand why the participating actors' have different views and possibilities. Sandra Lustig followed a similar chain of thought in her research, focusing primarily on Eastern or Central European Jewish Quarters. Here, she emphasized the possibilities and threats of the existing numerous requirements and the countless actors in these cases (Lustig 2009). Based on this chain of thought, the village also shares this complexity depending on whether Hollókő is connected to the past or to the present and if it is researched in its smaller or wider location. These views can also be mixed in numerous ways providing new combinations and understandings. For example while the inhabitants moved out almost fully from the monument buildings and established a new settlement next to the authentic one, they earn their income from the tourism and marketing activities of the historic settlement (Fig. 6). So, they stick to their local unique identity, while they use the possibilities of the world heritage status.



Fig. 6 The map of Hollókő (the yellow spot north to Dózsa Gy. u. is the new village) <http://www.gkrte.hu/public/terkep/28.jpg>

Even though many try to maintain the original and traditional identity of Hollókő, the settlement is not a living village anymore and never will be again. Homi K. Bhabha offers a possible solution through the notion of translation. This new identity construction on one hand connects strongly to the past and traditions, but on the other hand it incorporates no intention to turn back to the past because such a notion is impossible (Bhabha 1994). Accordingly, Hollókő needs to have a dual identity that is interconnected. This identity must both protect and pass on its heritage as values (tangible and intangible elements alike), but also develop a contemporary Hollókő identity (not just as the keeper of the lost values and lifestyle) (Fig. 7). In order to achieve this, all actors should cooperate. Hollókő would not have reached such success only through the activities of the locals. Rather, scholarly professionals and political support were both needed and are still needed. Similarly, without the daily activities of the inhabitants of the village, not only the heritage values but most probably the settlement itself would have already disappeared.



Fig. 7 local girl with modern jewelry and in flip-flops acts out intangible heritage
<http://kalandok-cirm.blogspot.hu/2010/06/holloko.html>

Conclusion

Based on certain scholars' views, these changes are signs of the natural adaptation to modern times. Also, according to the world heritage status description, Hollókő is a living village, and as such, it follows the current trends and changes of life (Fejérdy 2008). Others would initiate a rethinking of the concept of Hollókő, as the original values are not fully present there (for instance, the locals have moved out from the old buildings, hence there is no living settlement any more) (Sonkoly 2010). It is important to point out that even though Hollókő has lost the features through which it gained its world heritage status, there has not been any complaint or reaction in this regard from the international community. This alludes to the fact that modifications took place within the international organization as well by moving the emphasis to other aspects of the requirements. Nowadays, besides authenticity, integrity and outstanding universal values (that one can find for instance in the Venice Charter; ICOMOS 1964), cultural relativism and the participation and involvement of the locals are also important requisites in the evaluation processes (as the Nara Doctrine formulated it; ICOMOS 1999) (Fig. 8).

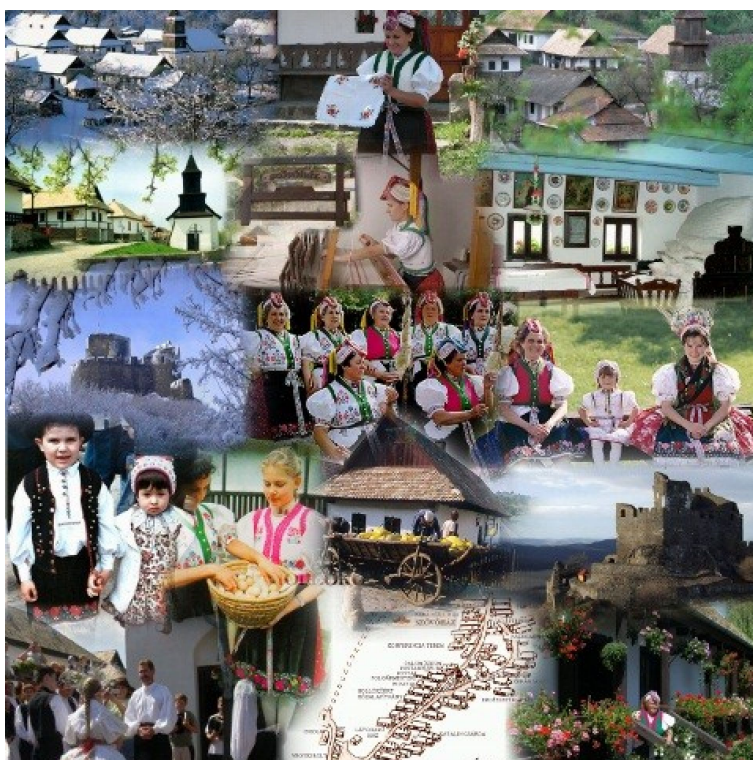


Fig. 8 Montage of Hollókő with its tangible and intangible heritage
<http://www.itthon.eoldal.hu/cikkek/termeszetvedelem/holloko.html>

Bibliography

- Népi Építészeti Tanács. (2014). *Ki van itthon?*, Népi Építészeti Tanács, Budapest.
- A Centrál Kávézóban mutatkozik be Hollókő.(2014).<http://orientpress.hu/127039>.
- Ács, I. (1990). *Hollókő*, Corvina, Budapest.
- Bhabha, Homi K. (1994). *The Location of Culture*, Routledge, London.
- Dobosyné Antal, A. And Kovács, D. (eds.). (2013).*Hollókő örökség*, ICOMOS, Budapest, p.7-11.
- Farkas, T. (2013).Beszélgetés Kelemen Istvánnéval, Piroska nénivel in *Hollókő örökség*, ICOMOS, Budapest,p. 179-189.
- Fejérdy, T. (2008). *Az épített kulturális örökség nem anyagi dimenziójának jelentősége a műemlékek hiteles megőrzésében*, Pécsi Tudomány Egyetem Pollack Mihály Műszaki Kar, Pécs.
- Gábor, K. (2000). *A középosztály szigete*, Belvedere, Szeged.
- Galambos, F., Román A. (1967). A Balaton környék népi építészeti együttese, *Műemlékvédelem*, XI./1., p. 14-24.
- Hall, S. (1997). A kulturális identitásról in Feischmidt M. ed. *Multikulturalizmus*, Osiris Kiadó, Budapest.
- Hollókő's official website. <http://www.holloko.hu/hu>.
- Hollókői Civil Szervezetek. (2011). <http://www.helyicivil.hu/h/holloko-egyesulet-alapitvany>.
- Hollókő Easter Festival.(2015). press release, <http://www.holloko.hu/hu/letoltes//letolthetodokumentumok/sajtoanyag-husveti-fesztival-2015.doc>.
- ICOMOS.(1964). *Venice Charter*, http://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf.
- ICOMOS.(1987). *Hollókő, népi építészet ajánlása a világörökségi előterjesztés részeként*, ICOMOS, Budapest.
- ICOMOS. (1999). *Nara Document*, <http://whc.unesco.org/en/documents/202>.
- ICOMOS. (1999). *News*, 9/3. p. 13-26. <http://www.international.icomos.org/newsicomos/news1991/1999-9-3.pdf>.
- Kiss, J. (2013). A világörökségi Hollókő Ófalu műemléki, természeti értékeinek, védelmének roved ismertetése in *Hollókő örökség*, ICOMOS, Budapest, p. 143-153.
- Koris, J. (1992). A hollókői magyar pavilon. *Műemlékvédelem*, 4, p. 245-246.
- Koris J. (1993). Hollókői magyar pavilon Párizsban: Világörökség kiállítás a párizsi UNESCO palotában, *Magyar Építőipar*, 4, p. 117-118.

- Lustig, S. (2009). Alternatives to "Jewish Disneyland." Some approaches to Jewish history in European cities and towns. in Monika Murzyn-Kupisz and Jacek Purchla. ed. *Reclaiming memory: Urban regeneration in the historic Jewish quarters of Central European cities*, International Cultural Centre, Krakow, p. 81-99.
- Magyar Építőipar.(1991). Postamúzeum és vendégház, *Magyar Építőipar*, 1 / 2, p. 36-37.
- Magyar Néprajzi Lexikon (1977-1982). *Palócok*, 4th volume, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Massey, D. (2002). *Globalisation as geometries of power*, Signs of the Times seminar, London, [http://www.signsofthetimes.org.uk/massey\[textonly\].html](http://www.signsofthetimes.org.uk/massey[textonly].html).
- Mendele, F. (1969).Hollókő műemléki jelentőségű területének védelme, *Műemlékvédelem*, XIII/4, p. 201-211.
- Mendele F. (2013) Hollókő műemléki védelme in *Hollókő örökség*, ICOMOS, Budapest, p. 31-41.
- Mezősinédr. Kozák, É. (2001). *Hollókő*, Száz Magyar falu könyvesháza series, Grafika-Tyoppress Nyomda, Budapest.
- N. Waigand, M. (2013). Hollókői kezdetek, in *Hollókő örökség*. ICOMOS, Budapest, p. 69-79.
- Örsi, K. (2013). A tájépítész emlékei Hollókő védelmével és helyreállításával kapcsolatban a kezdetektől napjainkig (50 év), in, *Hollókő örökség*, ICOMOS, Budapest, p. 137-142.
- Sonkoly, G. (2010). A tárgyi (világ) örökség hermeneutikája: Hollókő példája, *Magyar Múzeumok Magazinja*, http://www.magyarmuzeumok.hu/tema/143_.
- Szabó, Z. (1986). *Czifra nyomorúság: A Cserhát, Mátra, Bükk földje és népe*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Tomori, V. (1986). *Egy palóc falu lélekrajza*, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Wiebenson, D.; Sisa, J. and Lövei, P. eds.(1998). *The Architecture of Historic Hungary*, MIT, Cambridge.

Biographical notice:

Melinda Harlov-Csortán's research topic is the establishment of UNESCO World Heritage Cultural sites in Hungary as a combination of the international norms and the local circumstances. Her comparative approach is ensured by attending both national and foreign scholarly programs; presenting and publishing her research at Hungarian international platforms.



The restoration of a historical bathhouse of the 12th century in Damascus, Syria

Roula ABOUKHATER

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The bathhouse or hammam is an example of cultural heritage of Mediterranean civilization. As a vernacular building, it provides valuable lessons on traditional materials, construction techniques, water and heating management. In 2005, a multidisciplinary EU research project on bathhouses, The HAMMAM project was launched. It uses a case study approach for the study of six hammams in six Mediterranean countries. Despite its small scale, Hammam Ammuna the case study of Damascus is of great historical, scientific and esthetical value.

The field study started in 2006 has revealed inappropriate maintenance work in different parts of the building. In 2007, as a result of effort of the Syrian team and the project consortium, a new manager started a rehabilitation work. The restoration of hammam Ammuna has encouraged local people to reuse it; so becoming a focal point in the neighbourhood.

This paper presents three status of hammam Ammuna: the situation in 2006, the hammam during the pre-restoration work and in use situation with a focus on the present state. An evaluation of the rehabilitation work, based on observation, photos survey and discussion with the new manger is addressed.

INTRODUCTION

The HAMMAM project (Hammam, Aspects and Multidisciplinary Methods of Analysis for the Mediterranean region), funded by the EU, is coordinated by "The Vienna Institute for Urban Sustainability", working with eighteen scientific institutions from twelve countries. Its principal goal is to understand and evaluate the function and the technology for the running of a hammam. The partner in Syria is the (Institut français du Proche-Orient).

The presence and count of hammams in a Mediterranean city, with a public bathing tradition, are evidence to its socio-economic development.

In Damascus, the development in water distribution helped the spread of public fountains, hammams and the expansion of the city. The protection of the Old City within the walls in 1979 allowed the preservation of historical buildings against demolishing but the function of some buildings has changed and most hammams were transformed into warehouses or workshops which led to their physical deterioration. As for hammams in historic extra-muros neighbourhoods, most have not been registered in the antiquities' list and large numbers of hammams were demolished (Aboukhater 2008).

Hammam Ammuna dating back to the 12th century, the Ayyubid period, has been selected to conduct a model study of the HAMMAM Project in Damascus for different reasons. It is an important historic monument with authentic construction materials (mainly earth bricks), structural systems, decorative elements and service systems such as traditional heating method based on wood shavings, natural ventilation and lighting through upper windows and small circular openings in the domes. All these elements and features contributing to its aesthetic and technical values represent the architecture, the construction and craftsmanship of its period.

Hammam Ammuna lies at al-Uqayba quarter, one of the earliest historic neighbourhoods to grow and expand outside the city walls. And, it is not yet listed under the protection of the Department of Antiquities.

1- DIFFERNT STATUS OF HAMMAM AMMUNA (2005-2007)

1.1. Physical situation in 2006

Until 2002, Hammam Ammuna received women in the morning and men in the evening. Afterwards, it received only male customers while women could hire the hammam for a certain time. Like most hammams in Damascus, Hammam Ammuna is under the responsibility of the endowment ministry. Its owners pay annual rent to invest it. First visits in 2006 have revealed physical deterioration, but at the same time preservation of the hammam's original features. No changes of the plan realized by Ecochard and Le Coeur in 1942 are observed, except for some mild changes (Fig. 1).

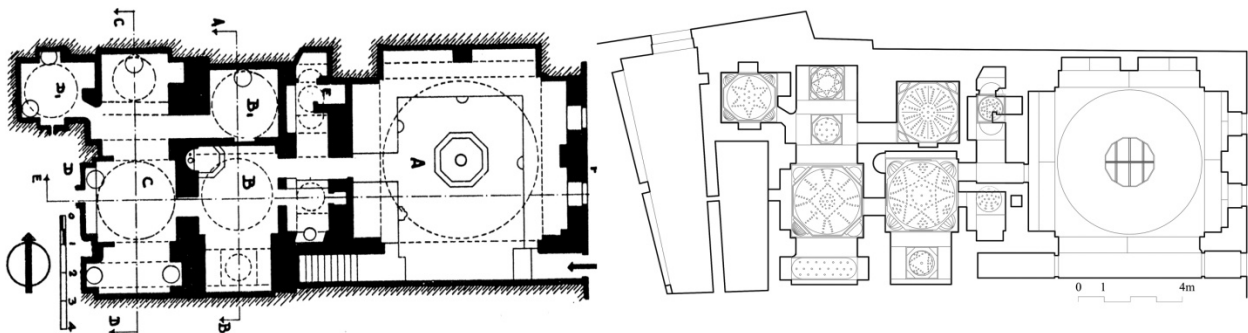


Figure 1: Floor plan and domes' plan (Left, Ecochard & Le Coeur – Right, IFPO, 2006)

Hammam Ammuna with its rectangular plan is distinguished by its main vast cold hall. A high dome with a lantern on the top covers the central part of the hall and supported by four arches and four spherical triangles. The successive two warm and hot bathing halls are covered by one vault and small domes. They rest on polygonal drum to make the transition from the square plan to the circular dome (Fig. 1). Domes and vaults, of about 20 cm thick, are made of earth bricks. The traditional heating system consists of windows that permit the vapor of water heated in two cauldrons in the furnace to penetrate in the bathing spaces and also of under-floor heating ducts. It uses smoke, previously heated in the furnace. The smoke travels horizontally through heating ducts under the floor of the washing rooms and then discharged by a chimney embedded in the inner wall of the cold hall (Behloul-Sibley, 2007). Natural lighting is provided by small circular openings pierced around the domes with star shaped patterns and covered by coloured glass bulbs (qamariyyat). The floor is covered with alternate stripes of tiles of black basalt and local rosy limestone. Basalt is used for covering the under-floor passage of the heating duct because of its high thermal conductivity values (Behloul-Sibley, 2007).

Observation and analysis of different parts of the building have shown the following problems:

The roof: Recent repairs have introduced new incompatible cement-based plasters which have caused peeling-off and fissures, and a consequent danger of direct water penetration into the roof. The accumulation of garbage on the roof, growing of plants above and the lack of drainage system have initiated cracks and dampness on the upper structure. The overcharge resulted of additional construction on the roof, and the heavy water tanks have affected the stability of the building.

The interiors: Cracks and biological growth are observed at the inner surfaces of the domes due to rainwater penetration and condensation problems. The walls of the bathing spaces partially covered with cement tiles show bulged sections, peeling-off, and microbiological attack (Fig.2) due to the dampness and high humidity (Caner-Saltık, 2007). The southern wall separating the hammam and the neighbouring house of the Kouzbari family is leaning towards the interior of the main hall.

The floor tiles were deteriorated due to ponds of water as a result of improper leveling. Façades on the street: Faults of the waste water collection at the interior and the lack of surface water drainage on the streets near the building, have increased the rising damp problem on exterior walls (Caner-Saltik, 2007). The stone part of the main eastern façade is painted with impermeable oil paints in black and white and had lost its historic attraction by covering the decorative strips and the geometric ornaments (Fig. 2). Technical systems: The main problem related to the heating system is the smoke pollution caused by the use of wood chips and garbage as fuel in the furnace. Glass bulbs that traditionally provide natural lighting are broken or replaced by plastic dishes which cause the penetration of rain water inside the hammam (Fig. 2). The traditional water drainage system based on channels in the floor isn't efficient in discharging washing water because of alterations in the slopes of the floor due to the replacement of some tiles with new cement ones. Insecure electric cables installations with unprotected joints, lightning bulbs are hanged inside the domes. Interior ambiance: the air is highly polluted in the bathing halls due to the biological growth, humidity and lack of proper ventilation. Poor overall cleanness is observed especially in toilets. Inadequate neon lightings fixed on the walls have been introduced, degrading the quality of the space.



Figure2: Interior and exterior parts of the hammam before restoration (Author, 2007)

1.2. The pre-restoration phase – Earth as a principal construction material

As a result of the effort of the Syrian team and the project consortium through a participatory process, a new manager started rehabilitation work in 2007. The Kubab family became responsible for its management. Their experience in the restoration of other famous hammam in Damascus (hammam al Malek al Zaher) and their skill in hammam management to provide the best services were the base to accomplish the rehabilitation work. The work started by removing all recently built cement benches as well as removing all the plaster and external coating to reveal the original construction materials (Fig. 3 - 4 - 5). The southern wall of the reception hall is built of stone whereas the eastern one is built with stone in the lower part and with earth bricks on the upper level over the arches of the windows. Only the base of the arches holding the dome in the northern façade is built with stone the other parts are built with earth bricks. All the walls of the successive bathing halls are built entirely with earth bricks. The accumulating layers of cement coating on the domes were removed. The domes are constructed of rows of earth bricks. The glass bulbs (qamariyyat) were removed and those which are in good condition were preserved for reuse. The circular openings in the domes are lined with pottery tubes that are hand moulded and dried in oven. Originally the glass bulbs were made in local workshops (Fig. 5). All the ducts and the chimney are made of earth bricks. These works revealed also some elements which were entirely or partly concealed and reintroduced the internal

spaces in their original status (Aboukhater, 2008). Demolishing the additional wall in the warm space revealed the fountain in this space and the plan assumed a rectangular shape parallel to the internal hot space. Oil painting on the main façade was also removed to permit the appearance of authentic decoration on the stones of the arches. The old water pipes made of clay appeared in the walls of the bathing spaces. Demolishing the deteriorated rooms, removal of water tank and plants on the roof helped mitigate the load and the impact of water accumulation on the safety and stability of the structure (Aboukhater 2008).



Figure 3: Cleaning phase, removing all types of coating (Author, 2007)

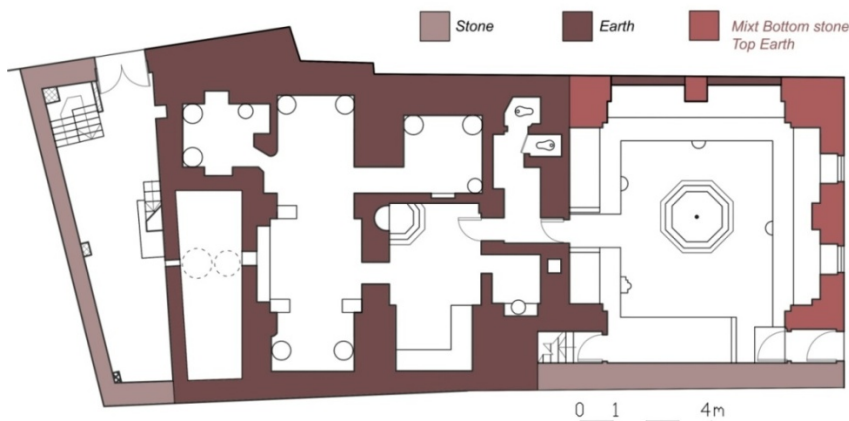


Figure 4: Floor plan illustrating construction materials – Status 2006 (Author, 2016)



Figure 5: Domes' construction (Photos, Author 2007 – Drawing, Author 2016)

2. THE RESTORATION PHASE IN 2008

The restoration process included all the interior parts as well as the exterior facades of the hammam. The Syrian team has presented to the new manager several recommendations about the restoration but the work has started after preliminary consultation with an architect working at the municipality. The main construction materials were conserved and the deteriorated parts were reconstructed as the traditional methods but the use of

incompatible materials especially in the mortar and the coating was the main problem in this phase.

A mezzanine in the cold room and new rooms on the roofs were added and used for some beautification services in women's times. Using light construction materials (the wood) to build these new additions is a good choice in order not to add more weight on the roof. The wooden benches and the concealed lights distributed within the main hall have a good effect of returning the glamour of the huge space of the reception area. Doors and windows woodwork was fully renovated to assure good isolation. The southern part facing the entrance door hosts the new reception and the buffet to provide hot beverages and "hubble-bubbles" to the customers (Fig. 6). The lantern in the main dome is replaced by an octagonal one with openings for ventilation. The sanitary services were improved and mechanical ventilation systems were installed. The extra load on the roof of the bathing spaces is diminished by placing the water tanks on the cement slab over the furnace. New functions were added, a Jacuzzi bathtub and a sauna in the warm bathing space, a steam room and a shower bath in the hot compartment (Fig.7).



Figure 6: Interior spaces after restoration (Author, 2008)

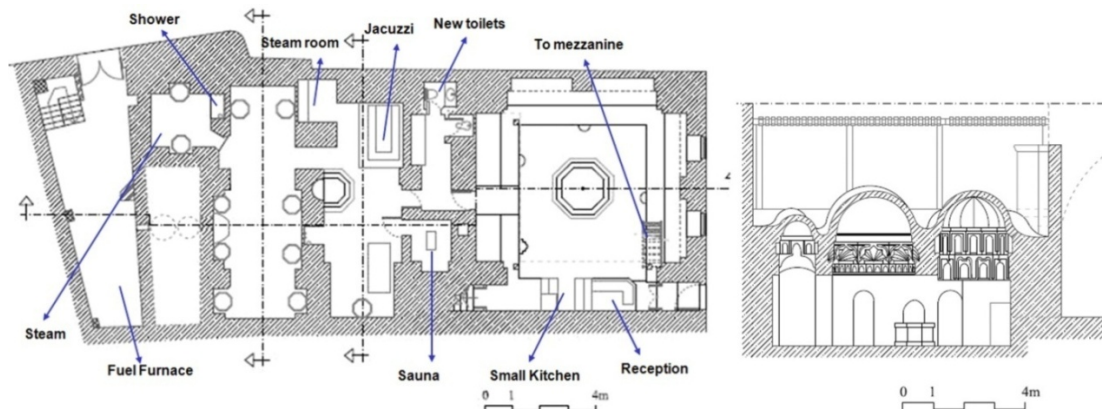


Figure 7: Plan and section of hammam Ammuna with new functions (IFPO, 2008)

2.1. Hammam Ammuna in 2010

Main changes noticed afterwards concerning the marketing and the visibility of the building, which is presented by installing a new wooden sign on almost all along the upper part of the northern façade facing the open public space.

As the hammam is relatively a small one, and since the traditional heating system has been changed, the manager decided to use that space where water used to be heated and stored in the traditional tanks, as an additional bathing room added to the hot bathing space. A door is opened to facilitate communication and this place became the hottest one. Also the rooms on the roof are planned to be used in the future as a centre that provides beauty services to female users.

In March 2010, the manger has installed solar panels on the roof of hammam Ammuna as a result of raising awareness campaign organized by the IFPO through activities of the HAMMAMED project of Euromed Heritage IV program and addressed to hammam managers on energy saving (Fig. 8).



Figure 8: External walls and the roof after restoration (Author, 2010)

3.1. Evaluation of the restoration

After the official opening, hammam Ammuna became a good example of a well functioning hammam. It opens its doors to women seven days a week in the morning, and for men at the evening. Many users come from the neighbourhood. It is now well connected to the local community. Users of Hammam Ammuna include also tourists who want to experience the traditional bath. Different services are offered to clients and women can choose between low price and VIP services offered in different time space.

The evaluation of key points considered during the restoration, mainly those relating to the construction materials and the technical systems of the hammam is detailed in table 1.

Conservation work	Evaluation/ remarks
Most of the parts built with stone in the reception hall and the spherical triangles built with earth bricks of the main dome were left bare (Fig. 6).	This intervention is not conventional in most traditional hammams in Damascus as they are usually covered with traditional lime plaster.
The interior walls were covered with basalt and lime stone sheets up to 120 cm high with cement-based mortar (Fig. 6).	For ease of cleaning, the covering could be accepted, but the cement-based mortar will damage the walls built of earth bricks and cracks have appeared.
The interior surface of the vault and the domes are covered with two layers of cement plaster and the last one of lime and the exterior surface are covered with cement plaster (Fig. 8).	The plaster mixed with cement in the interior part of the domes will probably crack because of the humidity inside. The traditional waterproof coating for the exterior part made of lime, finely-cut hemp and ash resulting from the bath's heating system should replace the cement one.
Glazed bulbs (qamariyyat) were reinstalled to provide natural lighting to the interior spaces. Some movable ones were introduced to provide ventilation during the night. (Fig. 8)	The bulbs were fabricated locally in the same way and with the same forms and colours of the original ones. Better ventilation is provided to prevent dampness and biological growth.
The ornamentation stripes on the main façade and the ornamented arch around the entrance door were revealed (Fig. 8).	Missing parts were reconstructed using the same traditional colours and technique. Geometric and floral ornaments are carved in the stone and filled with coloured paste.
A wooden and plastic shed is constructed over the entrance façade.	The shed provides protection to the main decorated façade.
Transforming the traditional furnace working on wood to a fuel one that has been connected to the new water heater.	Maintaining both the old chimney and ground ducts, and the maintenance of wood shavings usability ensure alternative solution for heating if needed.
The traditional drainage system is removed. The stone flooring was stripped down and relined, and some decaying stones were replaced.	Reliance on floor inclination towards specific points for drainage is executed without taking into consideration the original drainage system.
Water and electricity installations were completely changed and hidden within the walls.	Using of new PVC water pipes and hidden installation ensure more safety against electricity shocks.

Table 1: Evaluation of the restoration work

3. HAMMAM AMMUNA IN 2016

The Old City and the centre of the city of Damascus are at present threatened by bombs attack, but life is still going on and people are still trying to appropriate historical places and continue to use traditional baths. Hammams are still functioning for local people and especially for those looking for a warm place and hot water in the winter. The income from tourists is the most damaged through the last four years. Recently wedding parties in the hammam, especially during men period, are observed. Hammam Ammuna is still serving local dwellers in the Uqayba quarter and those coming from other cities or living nearby.

4. CONCLUSION

The main reason of the degradation of a hammam is its negligence and lack of maintenance. Physical problems during maintenance work or restoration have to be solved with special care to the conservation of architectural features, construction materials and technological characteristics of such a type of historical buildings.

One of the major characteristics of the hammam building materials is the compatibility of their properties that ensures the durable functioning of a hammam as a harmonious unity. The rapid execution of the restoration of hammam Ammuna without taking advice of the consortium of the HAMMAM project, the disappearing of some traditional handcrafts and the high cost of some existing traditional techniques have led to some problems as the use of new building materials. Repairs were done without any concern to the similar performance properties with the earth bricks, the original materials of the hammam. Moreover, using of fuel instead of traditional heating system and the addition of new facilities in the spaces that are incompatible with the bathing tradition of a historical hammam may cause loss of identity.

The HAMMAM project has offered different opportunities to discover traditional materials and systems and traditional know-how. A number of people engaged in efforts to revive traditional hammams may well benefit from the results of this research project. Further studies should focus on existing craftsmanship for restoration purposes. It is to be taken in consideration also that when developing a comprehensive rehabilitation actions for such a facility, to keep in mind issues as water shortage and the need to rely on clean and renewable energy sources as much as possible.

Unless the historical hammams are protected as local heritage by the antiquities and are revitalised as integrated function of the historical neighbourhoods, there is a great risk to be demolished. Hammam Ammuna is now in a good physical condition, even with some negative remarks on its restoration. It functions in accordance with sound health and ethical standards. The restoration of hammam Ammuna laid the foundation for a sustainable development and a revival of an important social utility with an economic impact on the neighbourhood. It is becoming a focal point in the neighbourhood and appropriated as a valuable historical monument to be conserved.

Bibliography:

- Aboukhater, R. (2008). Notes on architectural modification of hammam Ammuna in Damascus (2005-2008), In *Proceeding of HAMMAM Conference in Damascus, IFPO*. Under print
- Behloul-Sibley, M. & Alwaer, H.(2007). Workpackage N: Restoration Technology, University of Liverpool, UK. In *HAMMAM Deliverable 12 Part 2 – Data Report of the Hammam in Damascus*. Unpublished study.
- Caner-Saltik, E. N.(2007). Workpackage N: Restoration Technologies, Middle East Technical University, Turkey. In *HAMMAM Deliverable 12 Part 2 – Data Report of the Hammam in Damascus*. Unpublished study.
- Ecochard, M. & Le Cœur, Cl. (1942-1943), *Les bains de Damas I-II*, Institut Français de Damas, Beyrouth.

Author biographical notice:

Consultant in heritage studies by the Syrian Syndicate of Engineering. She obtained postgraduate diploma in (Bioclimatic Architecture and New Technology), 1995, France. She is member of consortium of three EU projects dealing with cultural heritage and participated in international conferences, (WSB14 - Barcelona - 2014, WOCMES - Barcelona - 2010, ICOMOS conference - Paris - October 2010 ...).



**Descubrimiento de nuevas pinturas murales en Pachacamac, Perú.
Un reto para la conservación de la arquitectura de tierra**

Kusi COLONNA-PRETI, Peter EECKHOUT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

El descubrimiento inesperado y excepcional de las pinturas murales del Edificio B15 en Pachacamac ha planteado un caso de conservación complejo debido al estado de conservación precario de la mayoría de los enlucidos de tierra, a las características ambientales del sitio arqueológico y a la urgencia de la intervención. Hemos adoptado medidas de conservación preventiva durante la excavación para proteger los muros de los agentes ambientales, principal causa de alteración. Las medidas de conservación curativa han consistido en la consolidación de los bordes de los enlucidos y la readhesión de las capas desprendidas humedeciendo la superficie y aplicando una leve presión. Sin embargo, este caso ha puesto en evidencia que el aporte de agua puede acelerar el deterioro y resultar en una pérdida de la capa pictórica. En estos casos puntuales, hemos vuelto a adherir las capas por presión y hemos procedido al recubrimiento y reentierro. Nos hemos decantado por esta mínima intervención ante las dudas del éxito de una consolidación superficial o del *strappo*. Esperamos poder evaluar el estado de conservación de los enlucidos pintados durante la próxima temporada de excavaciones.

INTRODUCCIÓN

El sitio arqueológico de Pachacamac está ubicado en la desembocadura del Río Lurín, a unos 30 km al sur de Lima (Perú), a menos de 1 km del océano Pacífico. Abarca una superficie de casi 600 hectáreas, de las cuales más de un tercio presenta arquitectura monumental de adobes y piedras. Según los fechados radiocarbónicos, fue ocupado desde el siglo VI de nuestra era hasta la conquista española a inicios del siglo XVI. Varias culturas precolombinas dejaron vestigios, pero el auge del sitio fue probablemente el periodo Inca (siglos XV-XVI). En ese momento, pasó a ser un centro de peregrinaje muy importante a nivel imperial ya que el santuario de la divinidad epónima tenía un ídolo con atributos oraculares y curativos (Eeckhout 2013).

La zona arqueológica se subdivide en tres sectores llamados “Murallas”, aunque no tienen función defensiva si no simbólica. La primera muralla, o Muralla Sagrada, consta de templos de diversos periodos, incluido un Templo del Sol inca. La segunda muralla muestra un gran despliegue de arquitectura de gran tamaño, las Pirámides con Rampa, así como calles, plazas y numerosos edificios. La tercera muralla es la más amplia, tiene ocupaciones domésticas y cementerios. Allí probablemente vivió el pueblo de Pachacamac, mientras las élites vivían en la segunda muralla, en donde también se acogían a los peregrinos para los rituales (Fig. 1).



Figura 1: Plano del sitio arqueológico de Pachacamac (Infografía: V. Decart).

El Proyecto Ychsma excava en Pachacamac desde 1999 en la segunda muralla. Las Pirámides con Rampa, así como un importante cementerio, han sido el enfoque principal de las investigaciones durante más de 10 años. Últimamente, nos hemos interesado por el tema del peregrinaje al sitio, enfocándonos primero en las prácticas rituales de las cuales podrían conservarse restos materiales. Todos los templos del Recinto Sagrado estuvieron pintados, lo cual no es el caso de las residencias y estructuras de la segunda muralla. Este rasgo decorativo es específico ya que podría ser un indicio del carácter sagrado y de la función peculiar de los edificios pintados. Durante la temporada 2003 nos llamaron la atención huellas de policromía descubiertas en la entrada de la sala central,

en la segunda muralla. El tránsito de los peregrinos estuvo estrictamente controlado y la sala central hacía parte de este recorrido (Eeckhout 2013). Resulta interesante constatar que allí también hay pinturas, lo que refuerza la correlación sagrado-decorado. Esto nos ha llevado a identificar, en el 2008, un edificio de la segunda muralla que también mostraba huellas de pintura muy fugitivas, el Edificio B15, del cual trataremos a continuación. En efecto, la excavación ha revelado numerosas pinturas en los muros, bajo el derrumbe, e innumerables ofrendas de origen foránea atestiguando de las prácticas rituales relacionadas con el peregrinaje en tiempos de los Incas así como su abandono a causa de la conquista española (Eeckhout 2015).

1. EL DESCUBRIMIENTO DE LAS PINTURAS MURALES

Durante la campaña arqueológica del verano de 2014, nos hemos interesado en el Edificio B15, un edificio cuadrangular de unos 40 x 35 m, construido en fábrica de adobes y argamasa, con sillares de piedra para la base de varios muros. La estructura tiene una sola entrada y un conjunto de recintos al centro del espacio interno (Fig. 2 y 3). Hemos identificado tres fases de ocupación: la más antigua (finales del Horizonte Medio /inicios del Período Intermedio Tardío) es una necrópolis con momias dentro de cámaras funerarias; la segunda etapa es el Edificio B15 propiamente dicho, fechado en el periodo inca; la tercera etapa es una reocupación colonial con saqueos y algunos muros.

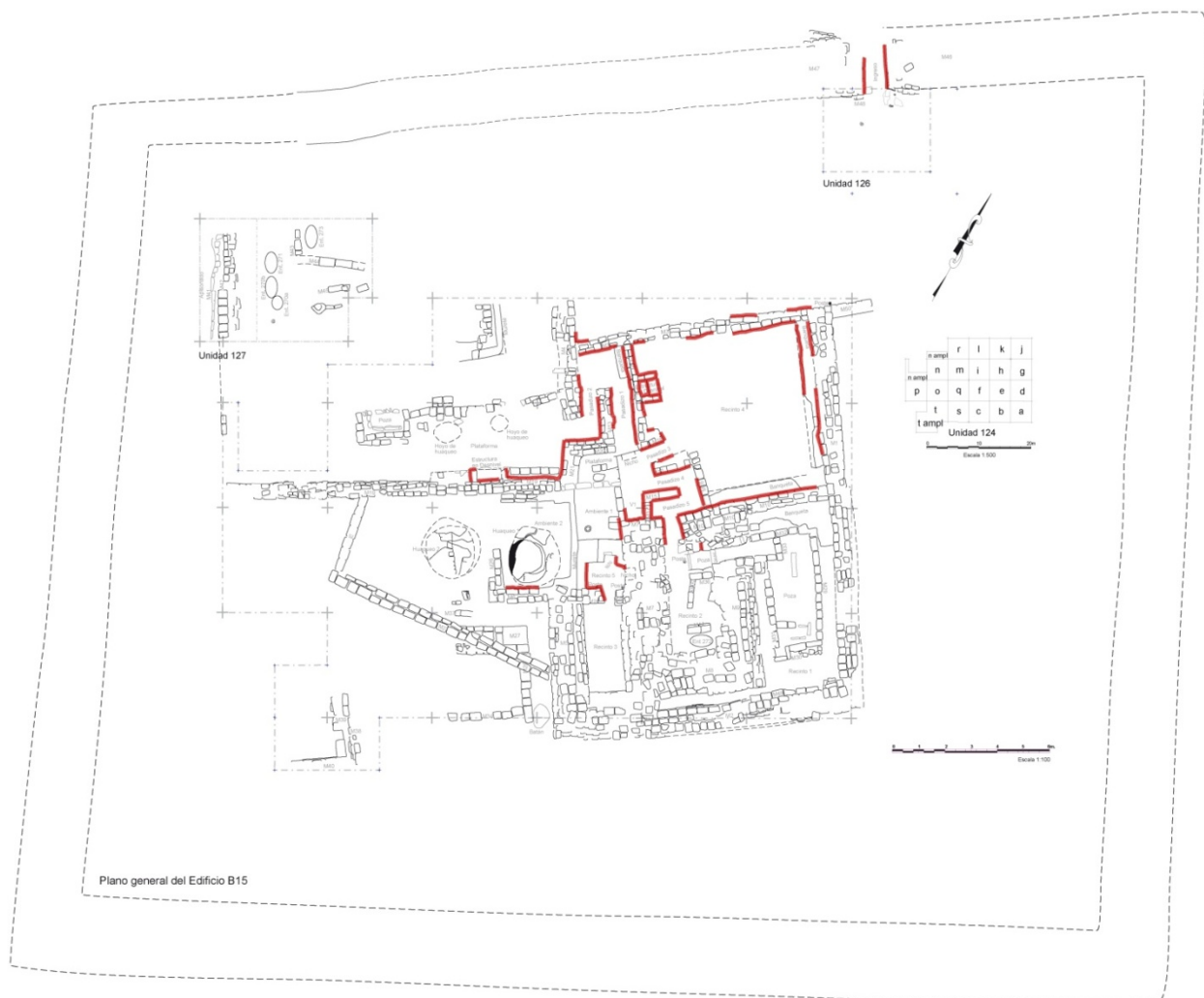


Figura 2: Plano del Edificio B15 con indicación de los muros pintados (Infografía: M. Luján y K. Colonna-Preti).



Figura 3 : Vista general del Edificio B15 en curso de excavación (Foto: K. Colonna-Preti).

La excavación ha revelado una de las particularidades del Edificio B15: el recubrimiento de varias paredes y adobes caídos con capas de enlucido y pintura. El análisis de la estratigrafía de estos elementos nos ha permitido determinar que, en promedio, se han aplicado 3 capas, pero hemos observado hasta 8. Las capas de pintura no están necesariamente aplicadas sobre una capa de enlucido ya que en varios casos las encontramos directamente sobre los adobes, sobre los sillares o sobre otras capas de pintura. Evaluamos a un 75% las capas de color, el 25% restante son capas de enlucido. La pintura consiste en la extensión de un color de fondo, en la mitad de los casos éste está decorado con dibujos (la otra mitad quedándose como un fondo de pintura monocroma). El estudio ha puesto en evidencia que en la mayoría de los casos el color de fondo es rojo mientras que los dibujos son de color negro y amarillo, con la presencia de algunos colores que enriquecieron la paleta, como el ocre, el verde, el verde esmeralda, el blanco el rojo y el celeste.

Entre los muros pintados, destacan los del pasadizo que da acceso al Recinto 2, cuyas paredes laterales están decoradas con grecas escalonadas (Fig. 4) y la Estructura en Desnivel 2 (probablemente un asiento) en donde hemos identificado un pez y un personaje (Fig. 5). Las pinturas murales del Edificio B15 son un hallazgo realmente extraordinario, ya que ninguna pintura mural había sido descubierta en Pachacamac desde 1938 y que no se conocía pintura mural en este sector del sitio.



Figura 4: Motivos de grecas escalonadas decoran el acceso al Recinto 2 (Foto: P. Eeckhout).



Figura 5: Personaje y motivo de pez representados en la Estructura en Desnivel 2 (Foto: P. Eeckhout).

2. ESTADO DE CONSERVACIÓN Y CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LAS PINTURAS

Los muros pintados han llegado a nosotros en un estado de conservación desigual en función de las paredes. La altura de los muros varía entre 5 y 150 cm, con un promedio de 62 cm de alto. La mayoría tiene pérdidas extensas de capas, pero en algunos casos se conservan en casi toda la superficie, como el acceso con las grecas escalonadas. A menudo las pinturas presentan grietas asociadas a pérdidas de capas lo cual permite observar la estratigrafía de las mismas. La superficie pintada se encuentra a menudo pulverulenta, erosionada y con desprendimiento de capas pictóricas en forma de exfoliaciones o ampollas (Fig. 6).



Figura 6: Desprendimiento de la capa pictórica en forma de ampollas (Foto: K. Colonna-Prete).

Pensamos que la principal causa de alteración de los muros pintados, una vez descubiertos, ha de ser atribuida a las sales solubles contenidas en el material. Hemos observado que están presentes principalmente en las cabeceras de muros; es probable que gran parte proceda del aerosol marino que se deposita en las superficies y penetra en los muros desde la parte superior. No descartamos que también proceda del suelo por capilaridad. El proceso de alteración está vinculado a la excavación: en el momento del desentierro, el equilibrio alcanzado entre las estructuras de tierra y las condiciones climáticas del subsuelo se rompe. Las sales en solución presentes en los poros del

material migraran hacia el exterior y precipitan, ya sea en la superficie o inmediatamente por debajo. Las sales que se cristalizan aumentan de volumen, lo cual produce presiones mecánicas en los poros del substrato (Berducou 1990:19-21; de Guichen 1986:25-7). Hemos observado que en algunos casos las alteraciones se manifiestan bajo forma de eflorescencias blancuzcas y en otros bajo forma de desprendimientos del material: pulverulencia de la capa pictórica, ampollas, exfoliaciones, fisuras y pérdidas.

El proceso de alteración también es determinado por las características climáticas del sitio arqueológico. El clima de esta región se define como árido, deficiente en lluvias todo el año, semi-cálido y húmedo (SENAMHI). La estación meteorológica del Museo de Sitio de Pachacamac (MSPAC) indica que los niveles de humedad son elevados, variando de 65% de humedad relativa en verano (enero y febrero) hasta 100% en invierno (julio y agosto). El promedio de temperatura mínima es de 12° C en invierno y 28°C de temperatura máxima en verano. El viento procede del litoral marino con una velocidad promedio de 35 km/h y viene cargado de polvo y sales (Pozzi-Escot et al. 2013:44-7; Pacheco 2014:158-9). De estos datos se desprende que los elevados valores de humedad relativa con amplias variaciones entre el invierno y el verano, pero también entre el día y la noche, son la causa de los ciclos de precipitación y delicuescencia de algunas sales solubles. Este fenómeno se ve acelerado por el viento, el cual también ejerce una abrasión sobre las superficies arquitectónicas.

3. INTERVENCIÓN DE CONSERVACIÓN

La primera medida, de orden preventivo, ha sido tomada durante el proceso de excavación y ha consistido en la protección de los enlucidos para limitar la erosión del viento, los cambios climáticos bruscos entre el día y la noche y los daños mecánicos. Para esto, hemos fabricado protecciones a medida para cada muro con láminas de cartón y estructuras de caña, éstas han resultado fácilmente amovibles y de bajo coste (Fig. 7). Su uso ha sido provisional ya que el programa de investigación arqueológica del Proyecto Ychsma preveía desde el inicio el reentierro de las estructuras excavadas.



Figura 7: Protección provisional con estructuras de caña y cartón (Foto: M.J. Declerck).

La segunda consideración ha atañido el tratamiento de conservación curativa. Hemos optado por la consolidación de los enlucidos aplicando un bisel de mortero en el borde exterior, en las grietas y en las lagunas del enlucido. El mortero está compuesto por 1

parte de tierra, 1 parte de arena limpia y agua desionizada. Para readherir los estratos de enlucido y de capas pictóricas hemos humedecido por aspersión las superficies con agua desionizada y etanol, aplicando una presión débil con algodón a través de papel japonés (Fig. 8). El tratamiento ha dado buenos resultados en la mayoría de los casos, volviendo a obtener la planicidad y adhesión.



Figura 8: Readhesión de la capa pictórica (Foto: M.J. Declerck).

En el caso de las dos Estructuras en Desnivel, el resultado de la consolidación ha sido exitoso en un primer momento, pero después de dos a cinco días, hemos observado que se volvía a producir un desprendimiento y caída de pequeños fragmentos de la capa pictórica. Pensamos que la solución mixta vaporizada ha activado las sales contenidas en el material y ha favorecido la cristalización, acelerada por viento y las altas temperaturas estivales. En ese momento se presentaban a nosotros las alternativas siguientes para limitar las pérdidas:

- No intervenir y reenterrar los enlucidos cuanto antes.
- Aplicar un producto consolidante sobre la superficie.
- Arrancar los enlucidos para limitar el aporte de sales y conservarlos en un ambiente estable (*strappo*).

Quedaba excluida toda posibilidad de desalinización in situ ya que esta medida hubiese resultado ineficaz o inclusive dañina al no poder eliminar la fuente del deterioro.

La primera opción, la menos intervencionista, tiene la ventaja de respetar el material original, evitando la introducción de sustancias poco afines con la tierra. Esta alternativa se apoya sobre el restablecimiento del equilibrio climático entre las estructuras de tierra y el subsuelo una vez sean reenterradas. Sin embargo comportaba el riesgo de ver perder una parte de las pinturas durante el lapso de la excavación.

La segunda propuesta ofrece una gama de variaciones, si bien estaba limitada a la disponibilidad y el tiempo de suministro de los productos. Entre los consolidantes de naturaleza orgánica hemos considerado los polímeros sintéticos (resinas sintéticas en solución o en dispersión) y los polímeros naturales (derivados de la celulosa, mucílagos o almidones). Por otro lado hemos contemplado los consolidantes inorgánicos a base de sílice (alcoxisilanos). También se planteaba la posibilidad de utilizar un empapelado de protección (*facing*) con papel japonés. La aplicación de consolidantes ofrece la ventaja de aportar una solución inmediata para la readhesión de las capas. No obstante

desconocemos la eficacia y el envejecimiento a largo plazo de estos productos en ambiente subterráneo, los cuales podrían resultar en un factor más de alteración.

La última opción, la más intrusiva, supone el arrancamiento previa protección de la superficie, el tratamiento de ambas caras y la colocación sobre un nuevo soporte. Las ventajas residen en alejar la causa de alteración y en la posibilidad de exposición al público. Sin embargo las desventajas son diversas: el trauma sufrido por el substrato durante el arrancamiento, el éxito técnico de la operación con insumos limitados, el coste elevado en tiempo y en material, la conservación en un ambiente estable. Por otro lado, la opción del *strappo* supone dilemas de orden deontológico ya que separamos el bien cultural de su contexto.

Después de consultar colegas profesionales y evaluar los pros y los contras de todas estas opciones, entre los cinco conservadores del Proyecto Ychsma, tomamos la decisión con el aval del Ministerio de Cultura peruano de descartar el *strappo* y la aplicación de productos de conservación que no aseguran una solución a largo plazo en ambiente subterráneo. Ante una intervención cuyos resultados desconocemos, hemos preferido readherir las capas ejerciendo nuevamente una presión pero sin el aporte de agua. A continuación, hemos procedido al reentierro de los muros.

4. EL REENTIERRO

El reentierro de las estructuras excavadas ha sido realizado con precauciones particulares respecto a aquellas previstas en el programa de investigación. Las paredes de los muros se han protegido con una tela no tejida de polipropileno¹ y un relleno de arena limpia seca contenida por un pequeño muro de adobes sin argamasa (Fig. 9). Hemos necesitado 50 m de tela (de 160 cm de ancho) para cubrir todas las paredes polícromas, así como unos 1700 adobes (de 20 x 12 x 9 cm) y 7 m³ de arena limpia seca. Este trabajo ha sido realizado en 2 días por 6 personas. Al final de la temporada, todo el edificio ha sido enterrado con la misma tierra de excavación.



Figura 9: Reentierro de los muros (Foto: M.J. Declerck).

¹ Vendida en el Perú con el nombre comercial de tela Notex®.

En el caso de la Estructura en Desnivel 2, la superficie policroma ha sido cubierta con papel japonés, por encima del cual hemos dispuesto la tela no tejida. Esta protección suplementaria daría la posibilidad de ser utilizada como facing en el caso de que haya desprendimientos de las capas cuando se destape la Estructura.

Los 350 adobes con policromía encontrados en los derrumbes han sido enterrados junto con la etiqueta identificativa correspondiente en un hoyo de huaqueo situado en el recinto del Edificio B15, previamente excavado. Hemos ordenado los adobes enteros en hileras y los hemos sobrepuesto en pisos separados por arena. Los fragmentos de adobes se han envuelto con la misma tela y se han colocado sobre bandejas de polipropileno corrugado² encima de los adobes (Fig. 10). El emplazamiento ha sido indicado en superficie con adobes llanos y se ha georeferenciado.



Figura 10: Reentierro de los adobes (Foto: M.J. Declerck).

² Vendido en el Perú con el nombre comercial de Cartonplast®.

En el momento de redacción de este artículo, febrero de 2016, la nueva temporada de excavaciones del Proyecto Ychsma está a punto de comenzar. El programa prevé seguir las investigaciones en el Edificio B15, lo cual supondrá desenterrar el edificio. Como medida de conservación preventiva, evitaremos destapar las paredes con policromía, sin embargo aprovecharemos esta ocasión para verificar el estado de conservación de las pinturas y de los materiales empleados para cubrirlas. Con el fin de mejorar la protección temporal de estructuras pintadas, tenemos previsto realizar un estudio sobre la eficacia de materiales, en este caso hemos elegido películas reflectantes que se utilizan en el ámbito de la industria hidropónica, también empleadas como mantas térmicas de supervivencia. Esperamos poder presentar los primeros resultados durante la comunicación oral.

CONCLUSIÓN

Las pinturas murales del Edificio B15 han sido un descubrimiento inesperado y excepcional debido a la escasez de muros decorados en el Santuario Arqueológico de Pachacamac y a su localización en el seno de este centro de peregrinaje en época Inca. Este descubrimiento nos ha planteado un caso de conservación complejo debido al estado de conservación precario de la mayoría de las pinturas (desprendimiento de capas), a los factores ambientales del sitio arqueológico que aceleran el deterioro (proximidad del mar fuente de sales solubles, elevada humedad relativa, viento y altas temperaturas) y a la urgencia de la intervención.

Como medida de conservación preventiva, hemos intentado disminuir la acción de los agentes climáticos durante la excavación protegiendo los muros con para vientos provisionales. Como medida de conservación curativa, hemos intervenido directamente sobre los enlucidos consolidando los bordes y readhiriendo las capas desprendidas humedeciendo la superficie y aplicando una leve presión. Sin embargo, este caso ha puesto en evidencia que el aporte de agua puede favorecer la cristalización de las sales con la consiguiente pérdida de la capa pictórica. Esto sólo se ha producido en la parte superior de dos elementos arquitectónicos. En estos casos, hemos vuelto a readherir las capas por presión y hemos procedido al recubrimiento y reentierro. Nos hemos decantado por esta mínima intervención ante las dudas del éxito de una consolidación superficial o del *strappo*. Esperamos poder evaluar el estado de conservación de los enlucidos pintados durante la próxima temporada de excavaciones.

Bibliografía

Berducou, M.C. (1990). Introduction à la conservation archéologique. Dans BERDUCOU, M.C., *La conservation en archéologie: méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Masson, Paris, p. 3-35.

Colonna-Preti, K. (2010). *Informe: conservación y restauración del material arqueológico, Sitio Arqueológico de Pachacamac. Proyecto Ychsma. Temporada 2010*, (inédito).

De Guichen, G. (1986). L'oggetto interrato, l'oggetto disinterrato. Dans STANLEY PRICE, N., *La conservazione sullo scavo archeologico*, ICCROM, Rome, p. 25-34.

Eeckhout, P. (2013). Change and Permanency on the Coast of Ancient Peru: The Religious Site of Pachacamac. *World archaeology*45(1):119-142.

Eeckhout, P. (2015). Farewell to the Gods: Interpreting the Use and Voluntary Abandonment of a Ritual Building at Pachacamac, Peru. Paper presented at the 1st Brussels Precolumbian Meeting, Université Libre de Bruxelles, oct.24, 2015.

Pacheco, G. (2014). Conservación de las estructuras y murales de Templo Pintado de Pachacamac. Dans POZZI-ESCOT, D., *Pachacamac: Conservación en arquitectura de tierra*, Ministerio de Cultura, Lima, p. 143-163.

Pozzi-Escot, D., Pacheco, G., Uceda, C.R. (2013). *Pachacamac: Templo Pintado. Conservación e investigación*, Ministerio de Cultura, Lima.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Mapa de clasificación climática

<http://www.senamhi.gob.pe/sig.php?p=021>

Última consulta: 27/04/2017

Biografía

Kusi COLONNA-PRETI

Conservadora-restauradora (especialidad en cerámica y piedra, Istituto per l'arte e il restauro Palazzo Spinelli, Italia) e historiadora del arte (ULB), Terra conservació i patrimoni SL (Barcelona, España): Su trayectoria le ha llevado a profundizar conocimientos en conservación arqueológica, en particular en arquitectura de tierra.

Peter EECKHOUT

Profesor de arqueología en la Universidad Libre de Bruselas (Bélgica), director del Proyecto Ychsma.



Le patrimoine mondial du Mali après le conflit armé de 2012

Lassana CISSÉ, Thierry JOFFROY

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRATERRE. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé

De 1988 à 2004, le Mali a inscrit quatre biens sur la Liste du Patrimoine Mondial. Ceux-ci se trouvent dans une zone touristique très fréquentée, ce qui permet des apports non négligeables pour faciliter les efforts de conservation consentis par les autorités nationales et locales ainsi que ceux des communautés vivant sur les sites.

Au début de l'année 2012, le Mali fut le théâtre de la plus grave crise qu'il ait connue depuis 1960. Les attaques armées déclenchées par des groupes armés ont plongé le pays dans une situation exceptionnelle. Dans ce contexte, le patrimoine culturel a été affecté avec la destruction des mausolées de Tombouctou et d'autres biens culturels bâtis en terre pour lesquels on constate des difficultés pour mettre en place l'entretien courant que ce soit à Gao, à Djenné, ou encore au pays dogon.

Un vaste programme de réhabilitation du patrimoine culturel au Mali fut alors engagé. Ce programme a visé la complémentarité de différentes composantes, technique, sociale, culturelle, et aussi de planification pour faire face au risque d'une instauration durable de la crise du tourisme et de la difficulté d'un engagement fort des pouvoirs public pour conserver l'essentiel : la Valeur Universelle Exceptionnelle de ces biens.

1. INTRODUCTION

Le coup d'Etat militaire du 22 mars 2012 puis l'occupation jusqu'en février 2013 des régions du nord du Mali par des groupes armés font que le Mali se retrouve aujourd'hui devant de nombreux défis. L'un d'entre eux, et non des moindres, est celui de la réhabilitation de son patrimoine culturel qui est un des plus remarquables de l'Afrique Sub-saharienne avec quatre biens du Patrimoine mondial : Tombouctou, Djenné, Les Falaise de Bandiagara et le Tombeau des Askia à Gao.

Situés au cœur des zones occupées en 2012, deux de ces biens ont été plus particulièrement touchés : Tombouctou et le Tombeau des Askia à Gao. A Tombouctou plus particulièrement, la quasi-totalité des mausolées a été détruite. De nombreux autres sites culturels n'ont pas pu être entretenus, et certains ont été sévèrement endommagés et/ou pillés. En effet, lors de l'occupation, les expressions culturelles ont fait l'objet de menaces. Partout, la mise en œuvre des travaux collectifs d'entretien a été empêchée.

Par ailleurs, il a aussi été constaté que les deux autres biens inscrits au Patrimoine mondial, Djenné et le pays dogon ont aussi été indirectement affectés. Ceux-ci ont beaucoup souffert de la disparition quasi complète des apports du secteur du tourisme qui, en ces lieux plus particulièrement, a aggravé la situation de crise économique et les déplacements de population. Dans ces circonstances, le patrimoine architectural, essentiellement bâti en terre, s'est lentement dégradé.

2. HISTORIQUE DU CONFLIT ARME ET FAITS MARQUANTS

Depuis le déclenchement de la crise le 17 janvier 2012, le Mali, a été le théâtre de la plus grave crise qu'il ait connu depuis son accession à l'indépendance en 1960. Les attaques armées déclenchées le 17 janvier par des groupes armés qui ont été suivies du coup d'Etat du 22 mars ont plongé le pays dans une situation politique, sociale, institutionnelle, sécuritaire et économique sans précédent.

Pour sortir de cette crise le Mali a sollicité l'appui de la communauté internationale qui s'est mobilisée pour l'aider à faire face aux nombreux défis auxquels il est confronté. Pour ce qui est des aspects touchant au domaine de la culture, on note plus particulièrement les actions suivantes :

- Juin-juillet 2012 : 2012 Lors de la 36e session du Comité du patrimoine mondial à Saint-Pétersbourg, Tombouctou et le Tombeau des Askia, Gao sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial en péril.
- Les manuscrits anciens sont discrètement évacués de Tombouctou notamment grâce à l'ONG SAVAMA et ce dans des cantines métalliques, dans des camions, et par pinasses jusqu'à Mopti, Ségou et Bamako.
- Le Mali adhère au Deuxième Protocole de 1999 de la Convention pour la protection des biens culturels en cas de conflit armé (convention de 1954 de la Haye) et une coopération est engagée avec la Cour pénale internationale (CPI).
- Fin 2012, un « passeport » et une carte du patrimoine sud Nord du Mali sont préparés pour mise à disposition aux forces armées en anticipation de la contre-attaque ;
- 2 février 2013, suite à la libération de Tombouctou, la Directrice générale de l'UNESCO, Irina Bokova, se rend au Mali avec le président français François Hollande pour confirmer l'engagement de l'UNESCO.
- 18 février 2013, une réunion internationale d'experts est organisée avec le Ministère français de la culture et de la communication pour la sauvegarde du patrimoine culturel malien au Siège de l'UNESCO. Un Plan d'action est adopté.
- avril 2013 : La Mission multidimensionnelle intégrée des Nations Unies pour la stabilisation au Mali (MINUSMA) est créée. Entre autres, elle a le mandat historique d' « Aider les autorités de transition maliennes, en tant que de besoin et, si possible, à protéger les sites culturels et historiques du pays contre toutes attaques, en collaboration avec l'UNESCO »
- Un Comité national pour la réhabilitation du patrimoine détruit des régions du nord du Mali est créé et une Cellule technique d'appui sont mis en place.
- Le 6 Juin 2013 : Une mission d'évaluation de l'UNESCO et du gouvernement malien s'est rendue à Tombouctou pour évaluer les dégâts subis par le patrimoine culturel à Tombouctou.
- Le 8 juin 2013, un séminaire national est organisé à Bamako qui débouche sur le lancement de la préparation d'un document de stratégie d'une part et d'un document de projet d'autre part, références qui seront suivies pour préparer puis lancer le projet de reconstruction.

3. LES BIENS PATRIMOINE MONDIAL DU MALI APRES LA CRISE

Plusieurs missions organisées conjointement par le Ministère de la culture du Mali et l'UNESCO entre mai 2013 et février 2014 ont permis d'établir un diagnostic de la situation après la crise. Il est présenté ici dans ses grandes lignes.

3.1. Tombouctou

Tombouctou Bilad Al Sudan, est une ville carrefour entre l'Afrique subsaharienne et l'Afrique du Nord. Sa situation géostratégique remarquable, tout en haut de la boucle du fleuve Niger, permet à Tombouctou de se développer en association avec le commerce transsaharien et, au-delà, de devenir le centre intellectuel et scientifique le plus prestigieux du moyen âge africain.

Malgré de nombreuses péripéties, Tombouctou a conservé son caractère unique. Elle reste aujourd'hui une ville à la fois prestigieuse, tolérante, et accueillante, et ses mosquées, mausolées, maisons d'explorateur, ainsi que son tracé urbain et ses jardins, sont autant de repères qui permettent d'appréhender son histoire, son identité, et d'en décoder ses mystères.

Le bien est composé des trois mosquées historiques de la ville (Djingareyber, Sankoré et Sidi Yahia), et de 16 mausolées positionnés principalement dans les cimetières en périphérie de la ville. Il a été inscrit en 1988 sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. Il est sérieusement envisagé d'étendre le bien à l'ensemble de la ville historique (Médina).

Le Bien Tombouctou est celui qui a été le plus atteint:

- 14 mausolées ont été détruits entre juin et décembre 2012
- Les trois mosquées (Djingareyber, Sankoré et Sidi Yahia) ont été endommagées par endroit, surtout après l'attentat suicide de septembre 2013
- Les maisons au sein du tissu ancien (Médina) se sont dégradées à cause du manque d'entretien durant l'occupation.
- Enfin, le centre IHERI-HAB ainsi que les bibliothèques privées de manuscrits ont aussi subi des dégâts.



Mausolée d'Alpha Moya



Mausolée de ben Amar

Au-delà, le Monument dédié à El Farouk, le mythique chevalier protecteur de la ville, a été détruit. De façon générale, le patrimoine culturel immatériel a été sérieusement affecté par la prohibition imposée par les occupants. Les savoirs et savoir-faire liés aux métiers de l'artisanat d'art et de la maçonnerie traditionnelle ont connu un arrêt quasi-total, et le redémarrage, s'il est visible, reste difficile.

3.2. Le Tombeau des Askia à Gao

Le Tombeau des Askia est un témoin historique doublement unique, un exemple éminent d'architecture soudano-sahélienne ancienne, mais aussi une marque identitaire pour la ville de Gao et un lieu fédérateur de ses différentes communautés.

Le bien est composé d'une mosquée organisée dans un plan carré avec, de part et d'autre de la cour centrale, deux salles de prière et en son centre, le tombeau-minaret. Cette mosquée est liée à une grande esplanade dite de la pierre blanche. Celle-ci comporte un cimetière et sert de lieu pour la tenue des grandes prières.

Lors de l'occupation de la ville par le MUJAO, le Tombeau des Askia a bien failli subir le même sort que les mausolées de Tombouctou. Mais à Gao, la population a réussi à s'organiser pour résister aux velléités des groupes armés, avec notamment l'activisme du « Mouvement des Jeunes Patriotes ».

Il faut tout de même relever quelques impacts négatifs du conflit. Au-delà du fait que le Tombeau des Askia présente quelques faiblesses, faute d'entretien, il a aussi été noté que :

- Les nouveaux locaux du musée du Sahel ont été occupés par les groupes armés qui en avaient fait leur siège ;
- L'église catholique de la ville a été saccagée ;

- Le site archéologique de Gao-Saneye a été à nouveau pillé et celui de Kankou Moussa laissé sans entretien.



Travaux réalisés sur le tombeau des Askias en 2011, toujours visibles en 2014

3.3. Villes anciennes de Djenné

Habité depuis le III^{ème} siècle av. J.-C., le site de Djenné s'est développé autour d'un marché pour devenir une ville majeure du commerce transsaharien. La remarquable architecture des maisons de ses riches commerçants et sa mosquée monumentale l'ont rendue très célèbre. La ville et ses sites archéologiques associés sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial depuis 1988.

Située non loin des zones occupées, Djenné a subi un exode massif de ses habitants inquiets de la situation de crise qui s'amplifiait avec la disparition des revenus du tourisme. Celui-ci avait été à l'origine d'un développement local prometteur. En effet, entre 2010 et 2012, la commune urbaine de Djenné tirait près de 40% de ses revenus des taxes touristiques.

Après le conflit on constate aussi des difficultés institutionnelles au niveau de la Municipalité et un retour lent de l'administration. La Mission culturelle est en difficulté. Avec des moyens très faibles, comment assurer ses missions de protection et de conservation du bien ? Cette situation est d'autant plus préoccupante que le bien est déjà confronté à de sérieux problèmes de conservation, avec notamment des difficultés en matière de réglementation et de contrôle du développement urbain.

3.4. Falaises de Bandiagara (Pays Dogon)

Le site est inscrit sur la Liste du patrimoine mondial depuis 1989 en tant que Bien Mixte. Il couvre 400 000 hectares et comprend 289 villages. Les communautés vivant sur le site expriment la relation étroite qui les lie à leur environnement dans ses traditions et rites sacrés encore vivants. Dans la zone des falaises notamment, les cérémonies de célébration du culte lié aux ancêtres est considéré comme établissant un rempart contre les envahisseurs. Il a été observé que celles-ci ont été particulièrement vivaces lors de la crise, comme s'il s'agissait d'un réflexe d'autodéfense face à la progression des groupes armés d'ailleurs finalement stoppée à Douentza, la ville la plus septentrionale de l'aire culturelle dogon où le Toguna central (construction de rencontre pour la prise des décisions) a été saccagé.

Mais comme à Djenné, l'ensemble du secteur du tourisme est exsangue. Certains monuments dont la conservation dépendait au moins en partie de la fréquentation touristique pourraient donc être menacés, et ce d'autant plus que la Mission culturelle de Bandiagara (MCB) ne dispose plus de moyens adéquats.

4. LE PROJET DE REHABILITATION DU PATRIMOINE DU NORD DU MALI

Sur la base du diagnostic de situation, un travail collaboratif a été mis en place pour définir d'une part un document stratégique et, d'autre part, un document de projet pouvant être présenté aux bailleurs potentiels de cette opération. Pour cela, de nombreux séminaires et réunions de travail furent organisées, en complément des études réalisées sur le terrain afin de compléter la documentation existante. Au-delà de l'UNESCO qui apportait son soutien au Ministère de la culture (et principalement la DNPC), la MINUSMA allait grandement faciliter le processus en mettant à disposition ses moyens, à la fois pour le transport des experts et pour assurer leur sécurité.

4.1. Méthodologie : les grands principes

Dans le cadre de l'approche stratégique proposée, une attention toute particulière fut tout d'abord portée à la meilleure connaissance et compréhension des patrimoines affectés, à la fois dans leurs dimensions matérielles et immatérielles. Outre la révélation de connaissances techniques entièrement nouvelles sur les mausolées et leurs évolutions dans le temps, ce travail a permis de mieux cerner les liens existants entre ces mausolées et leurs détenteurs. Cela a révélé une similarité avec les mosquées anciennes du Mali, l'échelle de responsabilité étant ici placée au niveau familial (famille élargie).

Ces éléments amenèrent à fixer quelques grands principes devant guider les modes opératoires et le comportement à adopter pendant le projet de reconstruction. Ceux-ci ont été regroupés en cinq points principaux :

1. La responsabilité des monuments / édifices reste entièrement à ses détenteurs coutumiers et au(x) maçon(s) qui leurs sont rattachés : responsables traditionnels de l'exécution des travaux d'entretien et de maintenance.
2. Les vestiges voire même débris de démolition, porteurs d'un caractère sacré seront, autant que possible, réemployés.
3. Priorité sera donnée aux savoir-faire traditionnels. Toutefois, en fonction des évidences portées par les ruines et des perspectives concernant l'entretien futur, deux solutions possibles seront proposées aux détenteurs:
 - reconstruction à l'identique juste avant la destruction ;
 - reconstruction dans un état antérieur tel que mis en évidence par le croisement des informations recueillies.
4. Les édifices seront considérés « dans leur contexte ». Ainsi leurs abords seront pris en compte dans les études et, en tant que de besoin, feront l'objet de dispositions telles que réparations de mur de clôture, mise en forme de drainage superficiel, ...
5. Les chantiers seront réalisés dans un esprit de transfert de savoir-faire. Les maçons de la corporation bénéficieront de moyens leur permettant de faire travailler des jeunes afin qu'ils puissent assurer la relève dans le futur.

4.2. Un dispositif de gestion adéquat

La mise en œuvre de ces principes lors de l'exécution allait demander des négociations avec les principaux bailleurs de fonds : l'Union Européenne et la coopération suisse. En effet, ces deux organisations tendent à imposer des principes stricts de passation de marché qui, de par la nature même des opérateurs considérés ne pouvaient être appliqués, à la fois pour des raisons de fonctionnement (trésorerie, délais de paiements) et pour des raisons comptables.

C'est ainsi qu'un dispositif spécifique fut proposé et au final accepté par toutes les parties. Dans ces grandes lignes, celui-ci proposait une responsabilité principale à l'UNESCO qui était chargé de passer des contrats avec les experts internationaux et nationaux et, surtout, avec la DNPC qui, en tant qu'entité du Ministère de la culture allait gérer les fonds alloués aux travaux eux-mêmes. Ceux-ci devant être mis à disposition sur le terrain, le rôle de gestion quotidienne fut délégué aux missions culturelles. Celle de Tombouctou étant très sollicitée fut renforcée avec un poste de comptable et un chargé de logistique.

Les chantiers eux-mêmes furent directement confiés aux maçons - responsables traditionnels, chargés de composer leur équipe qui devait comprendre une bonne proportion de maçons de la nouvelle génération.

Bien entendu, les détenteurs traditionnels, imams, familles des descendants, responsables de bibliothèques,...) ont joué un rôle important dans la planification et le suivi des travaux, aux côtés des experts nationaux (bureaux AUDEX, ALDI et CJD) et internationaux (CRAterre).

4.3. Le chantier des mausolées, une approche itérative

Le chantier des mausolées fut de loin le plus complexe. Non seulement ceux-ci sont dispersés dans et autour de la ville historique, mais datant de périodes différentes et ayant été entretenus, réparés, ou encore reconstruits au cours de leur histoire, ceux-ci avaient des caractéristiques assez différentes. La plus grande difficulté rencontrée fut que ceux-ci n'avaient jamais été documentés de façon approfondie. Heureusement toutefois que quelques efforts récents avaient pu être faits, notamment lors de la préparation du plan de gestion du bien en 2006 et à l'initiative personnelle d'un architecte italien, Pietro M. Appolonj Ghetti. Toutefois, l'accès à l'intérieur des mausolées étant extrêmement limité, cette documentation se limitait aux données « vues de l'extérieur ».

La première étape pour les mausolées fut donc de bien étudier tous les vestiges et de croiser les observations avec les informations qui pouvaient être collectées auprès des familles et maçons responsables. Des fouilles archéologiques furent entreprises sous forme de sondages ponctuels de façon à ne pas trop déranger les sépultures) sur plusieurs mausolées pour confirmer certaines hypothèses, notamment de la surélévation de certains mausolées ; ce qui fut attesté avec l'observation de vestiges allant souvent jusqu'à trois mètres de profondeur.



*Relevés architecturaux, aout 2013,
par Aldi / M. Koné*



*Fouilles d'un tombeau,
recherche des niveaux anciens*

C'est sur la base de tous les éléments recueillis qu'un premier projet de reconstruction fut mené dès mars 2014. Et ce sera sur la base de cette expérience que le programme définitif de reconstruction et les plans pour chaque mausolée furent élaborés. Le démarrage des travaux fut un peu retardé, mais ceux-ci furent ensuite menés à un rythme

relativement pour être entièrement finalisés en septembre 2015, et ce juste après la saison des pluies qui a permis d'identifier les retouches nécessaires à effectuer (gargouilles, drainages, ...).



*Reconstruction du mausolée El Micky,
17 avril 2015*



*Crépissage du mausolée de Ben Amar,
21 avril 2015*

4.4. Les autres actions à Tombouctou

Les mosquées ont fait l'objet d'une attention particulière avec au-delà d'une aide fournie pour la mise en œuvre des travaux traditionnels d'entretien, un appui pour la réalisation de réparations permettant de refaire le retard pris par les responsables traditionnels pendant la crise.

De même, les musées et bibliothèques ont aussi été considérés, avec des travaux visant aussi une amélioration des conditions de conservation des manuscrits.

Le projet le plus original mené à Tombouctou est celui qui a été financé par l'AIMF et qui visait à résorber les situations de grande précarité dans lesquelles certaines familles étaient tombées, suite à la crise. Dans ce cadre, 30 familles ont pu bénéficier de petits financements qui leur ont permis de retrouver un habitat digne et un logement décent.



Une des maisons réhabilitée à Tombouctou



Crépissage du Tombeau des Askia, juin 2014

4.5. Le Tombeau des Askia

Le site du Tombeau des Askia n'avait que peu souffert de l'occupation. Toutefois, il fut décidé de porter une assistance à ses responsables y compris dans l'idée de valoriser le gros effort de protection que ceux-ci avaient fourni, probablement au péril de leur vie. En retraçant l'historique récent de ce monument, il fut possible de dresser un état des faiblesses et des risques et proposer ensuite une série d'actions dont une première partie a été réalisée en 2014, la deuxième, plus importante (sur la toiture de la partie la plus

ancienne) attendant des conditions de sécurité améliorée, nécessaires pour enfin pouvoir réaliser l'approvisionnement en bois de *hasu*, qui n'est aujourd'hui disponible que dans des zones situées au nord de Gao, encore trop instables.

4.6. Djenné et la falaise de Bandiagara

Après que les missions culturelles de Djenné et de Bandiagara aient pu être rétablies, des efforts furent aussi fait pour qu'elles puissent redevenir actives et ce malgré des allocations budgétaires très réduites.

A Djenné, une continuité a pu être donnée aux efforts de protection des sites archéologiques, et la dotation annuelle pour faciliter l'organisation du travail de crépissage a été attribuée. Enfin, en s'inspirant des travaux réalisés sur la mosquée, un travail a été réalisé avec des groupes de jeunes pour effectuer quelques reprises sur la « maison des jeunes ».

A Bandiagara, quelques réponses ont pu être apportées grâce au soutien d'une Fondation néerlandaise qui a financé des travaux de restauration symboliques dans les villages des trois Youga, ainsi que des réaménagements de mares et de petites retenues d'eau, facteurs essentiels pour garantir le maintien des populations dans les villages de falaises. Un travail de réflexion a aussi été mené pour une planification à long terme autour de la grande fête rituelle du Sigui organisée tous les soixante ans. La prochaine cérémonie doit en principe démarrer en 2027. Cet événement dédié aux masques est une occasion unique pour apprécier l'état de conservation de la tradition des masques dogon pour célébrer les ancêtres, et d'autre part contribuer à la sauvegarde des expressions immatérielles du patrimoine culturel du site de la Falaise de Bandiagara.

5. CONCLUSIONS : LES LEÇONS DE CETTE EXPERIENCE MALIENNE

5.1. Une mobilisation exemplaire

Le conflit armé au Mali et son impact visible sur les biens du patrimoine mondial, a été l'élément déclencheur d'un extraordinaire élan de solidarité internationale qui a fait comprendre aux responsables nationaux et surtout aux communautés locales toute l'importance et la portée du label « Patrimoine Mondial ». Jamais le pays n'a bénéficié d'autant de soutien et de mobilisation pour défendre et protéger les sites inscrits sur la Liste du patrimoine mondial. Il faut en cela saluer les efforts fournis par l'UNESCO pour mettre en œuvre une stratégie à la fois d'intervention et de protection renforcée de ces sites sous pression pendant plus d'une année.

Il faut également souligner le rôle cardinal joué par certains acteurs de la société civile, souvent anonymes, qui ont caché ou contribué à l'exfiltration des manuscrits anciens vers le sud, ou qui ont constitué des groupes de veille en protégeant efficacement d'importantes ressources du patrimoine culturel du Mali.

5.2. Les bonnes pratiques d'implication et de participation communautaire

Afin de ne pas risquer d'installer une rupture avec la prise en charge historique des monuments maliens par les communautés qui en sont les détenteurs, un certain nombre de principes pour l'action avaient été instaurés. C'est ainsi que bravant certaines règles habituelles de passation des marchés, un système a été mis en place pour sauvegarder l'essentiel : les savoirs et savoir-faire. Les cultures constructives locales ont pu être

renforcées par la forte implication des corporations de maçons et des responsables des édifices ou monuments. Tout ceci ne fut possible que grâce à la responsabilisation des structures et institutions du patrimoine culturel du Mali et la coopération efficace avec l'UNESCO à travers son Bureau à Bamako ainsi qu'à l'accompagnement le plus doux possible réalisé par AUDEX et CRAterre pour le suivi et la supervision des chantiers de reconstruction.

5.3. Quelles stratégies pour minimiser les impacts des conflits armés sur les sites du patrimoine mondial ?

La stratégie la plus importante est la mise en place d'un système de valorisation et de transmission des connaissances et pratiques traditionnelles de conservation. S'il est difficile d'empêcher la destruction physique des sites patrimoniaux, il est encore plus difficile d'étouffer des expressions immatérielles et des techniques assimilées dans le domaine de l'art de bâtir. La meilleure conservation est celle des gestionnaires. La corporation des maçons de Tombouctou en est l'illustration parfaite après la destruction aveugle d'édifices séculaires qui ont résisté à l'épreuve du temps et à des destructions répétées.

5.4. L'expérience inédite et exemplaire de réhabilitation du patrimoine culturel bâti du Mali en tant que processus

Doit-on parler d'expérience malienne en matière de gestion des sites patrimoniaux post-crise ? Il est très tôt pour l'instant ; cependant les stratégies mises en œuvre, autant par les professionnels du patrimoine que par la communauté internationale à travers le système des Nations-Unies (sous le leadership de l'UNESCO) méritent d'être diffusées afin de servir de modèle au besoin. Les démarches et approches participatives mises en avant dans le processus de reconstruction des mausolées de Tombouctou et d'autres édifices, l'implication de l'ONU à travers la MINUSMA et la supervision spécifique dans une situation d'insécurité méritent d'être enseignées dans les écoles, universités et centres professionnels de formation sur la gestion du patrimoine culturel.

Bibliographie :

<http://whc.unesco.org/fr/list/> (description des biens et plans de gestion)

Journal Libération du 18 février 2013, Déclaration conjointe de la Directrice générale de l'UNESCO et des ministres de la culture du Mali et de la France

Document de projet: «Patrimoines endommagés des régions du nord du Mali : Sauvegarde, Reconstruction, Restauration, Revitalisation », 60 p., UNESCO – DNPC, 31 octobre 2013

Stratégie de reconstruction du patrimoine du Nord du Mali, Reconstruction, Restauration, Soutien institutionnel, Planification. 84 p. UNESCO – MC/DNPC, Document validé le 5 avril 2014.

Pietro M. Apollonj Ghetti (2014) Inventaire des Mausolées des Saints de Tombouctou, UNESCO, 60 p.

Thierry Joffroy, Arnaud Misse, et Al. (2015) La sauvegarde des biens du Patrimoine mondial, un enjeu majeur pour le Mali, UNESCO-DNPC, 32 p.

Biographie :

Lassana Cissé, Direction nationale du patrimoine culturel du Mali

Détenteur d'une maîtrise de Philosophie, Lassana Cissé a mis en place puis dirigé la Mission Culturelle de Bandiagara de 1994 à 2013. Il fait partie du réseau d'experts de l'UNESCO pour les conventions 1972 et 2003 et est aujourd'hui Directeur National du Patrimoine Culturel et donc, responsable du programme de reconstruction des patrimoines endommagés depuis 2012.

Thierry Joffroy, CRAterre / AE&CC / ENSAG / CUGA

Architecte, chercheur à l'ENSAG et président de CRAterre, Thierry Joffroy collabore depuis plus de 25 ans avec l'UNESCO. Dans ce cadre il a travaillé sur plus de 25 biens du patrimoine mondial, dont les 4 situés dans le Nord du Mali. En 2010, l'académie d'architecture lui a décerné la médaille d'argent « patrimoine ».



Restauración de la estructura muraria de la Iglesia Bom Jesús Do Livramento

Eduardo SALMAR, Marcos TOGNON

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

El edificio, construido a fines del siglo XVIII, la iglesia matriz de la ciudad de Bananal, Brasil, se presenta como uno de los bienes religiosos edificados mas significativos dentro del contexto histórico del Vale del Paraíba en el Estado de San Pablo. Conservando sus muros originales en 'taipa de pilon' o tapial, la iglesia Bom Jesus do Livramento es un ejemplo de los lineamientos que, a lo largo de 2 siglos, presentan las características formales y estilísticas del arte decorativo de la arquitectura de tierra de ese periodo. La restauración de los edificios históricos en Brasil tiene muy pocas referencias documentadas o publicadas y, por esta razón, este trabajo intenta configurar posibilidades comparativas en el ámbito técnico, normativo y ensayos en laboratorio para los procedimientos constructivos con la 'taipa de pilon' o tapial.

1- EL COLAPSO

Formando parte del núcleo histórico de la ciudad, el monumento religioso fue nominado por el Consejo de Defensa del Patrimonio Artístico Arqueológico y Turístico del Estado (Fig. 1) y en 23 de julio de 2005, inesperadamente se colapsó una área de 32 m² de los muros de la fachada Este (Fig. 2).



Fig.1- Fachada de la iglesia. Agosto 2005.



Fig. 2- Area colapsada del muro, fachada Este. Agosto 2005

La comprobación de las causas del colapso de la estructura muraria eran las infiltraciones del agua de las lluvias en el interior del muro por años seguidos, seguramente por completa falta de mantenimiento del tejado de la iglesia.

La urgencia por intervenir restaurando la estructura muraria de 1 m de espesor y cerca de 10 m de altura, se presentó como una posibilidad interesante para integrar soluciones tradicionales e innovaciones

2- CRITERIOS ADOPTADOS

El primer y esencial criterio para la intervención del edificio dañado fue restablecer la armonía estática del muro, ante serios riesgos de la caída de la torre Este y del techado de la iglesia. Frente a este peligro hacia la comunidad, se adoptaron los siguientes criterios para el trabajo, manteniendo:

- a) la dinámica física original del muro con la reposición de bloques monolíticos de tierra apisonada,
- b) el peso original de la estructura colapsada, sin aumentos de carga para las fundaciones,
- c) la composición formal original de la construcción de la iglesia, especialmente los

espesores y componentes de madera como pisos y galerías apoyados en los muros colapsados.

Para la reconstrucción del tapial además de la búsqueda y evaluación de la tierra de la localidad, se tuvo fundamentalmente en cuenta aumentar los índices de resistencia mecánica del muro y, para ello, proponer gran concordancia físico-química en relación con las estructuras originales.

De este modo, se emplearon aditivos minerales, fibras de polímeros, procedimientos metódicos de compactación, alterando la plasticidad y liquidez del material como se mostrará más adelante.

2.1- Union con el tapial antiguo

En este aspecto se plantearon muchas dudas e inquietudes respecto a la manera de compactar las partes nuevas en contacto con las partes originales de la estructura de capas del tapial .

Para la correcta restauración de la estructura muraria de la iglesia en tapial se partió de tener plena conciencia de las limitaciones que plantean las características mecánicas-físico-químicas propias de esta técnica:

a) No es posible lograr un 'pegado' químico entre materiales nuevos y viejos del tapial, pues la estabilidad de los componentes minerales de las partes originales no permiten procesos, tanto con humedad de 'fusión' molecular o anclajes cementicios, teniendo en cuenta que la mayor parte de las partículas minerales son granulometrías variadas de cuarzo.

b) El uso de procedimientos mecanizados de apisonamiento no permite lograr una verificación gradual del proceso de densificación de las argamasas y la consecuente verificación del estado de humedad y de compactación.

c) Como la estructura del tapial es básicamente un conjunto de inertes aglutinados por la arcilla, formando grandes bloques estabilizados, prensados en capas, siempre con el máximo respeto por la plomada vertical, en tamaño y dimensionamiento (el módulo elástico del conjunto de materiales del tapial es muy limitado), la solución del 'encastre' entre lo nuevo y lo antiguo se hace con el empleo de dientes cortados en los bordes de la masa muraria (figuras 3 y 4), formando gran cantidad de entrantes y salientes, tanto en sentido vertical como horizontal. Ello permite una perfecta acomodación o unión entre los dientes, como en los engranajes, a fin de lograr una adecuada ligazón entre las partes nuevas apisonadas y las partes originales ya estabilizadas.

d) Se emplearon capas de varios tamaños y dimensiones y se estableció un protocolo de apisonamiento en diagonal, entre 60 y 75 grados de inclinación, para todas las áreas de contacto vertical, y así se fue unificando el tapial nuevo con las bases de tapial original.



Fig. 3- El proceso de demolición de los bloques de la tapia antigua. Nov. 2005



Fig. 4- Finalización de los trabajos de demolición del área colapsada. Enero 2006

2.2- Conocer la tierra original

En septiembre de 2005 se extrajeron muestras de los materiales empleados en el revestimiento y la construcción de la tapia original, para hacer ensayos de laboratorio:

- Muestra 1. Fachada Este: argamasa de asentamiento del sellado externo del muro.
- Muestra 2. Fachada lateral Este: trozo de muro de tierra, cara externa.
- Muestra 3. Fachada Este: en el punto de la ruina.

La Tabla 1 indica los resultados de los análisis granulométricos, realizados en el Laboratorio de Sistemas Constructivos de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo de la UNIMEP, según la Normativa Técnica Brasileña NBR 7181.

Tabla 1- Características de las muestras de tierra seleccionadas del edificio a restaurar.

Muestra	Peso (g)	Tenores de arcilla + limo (%)	Tenores de arena (%)
1	696,82	8,02	91,97
2	661,46	15,44	84,55
3	516,47	6,32	93,66

2.3- Conocer la tierra de la localidad

En noviembre de 2005 se realizó la recolección de muestras de tierras a emplear en la restauración del muro, teniendo en consideración que la elección de los sitios debía permitir el acceso de máquinas y camiones, por el carácter montañoso de la región. Siguiendo este criterio, se escogieron los yacimientos para extraer las muestras y se realizaron con ellas los siguientes ensayos granulométricos y de retracción:

Ensayos de retracción: se empleó el conocido 'ensayo de caja', indicado para medir el límite de retracción de la muestra, donde el máximo admisible es de 20 mm, siendo necesario hacer correcciones cuando se sobrepasa este máximo.

Análisis de granulometría: según las Normativa Brasileña NBR 7181 y la Normativa Complementaria NBR 5734.

Especificación de tamices: según la Normativa NBR 6457 para la preparación de muestras de suelos para ensayos.

De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados, indicados en la Tabla 2.

Tabla 2- Características de las tierras locales: retracción y análisis de granulometría.

Origen de la Muestra	Retracción total (mm)	Peso total de la muestra (g)	arcilla y limo (%)	arena fina/média/gruesa(%)
Capuava	42	737,76	16,25	83,73
Boa Vista	36	1130,57	8,15	91,83
Formigas	65	1019,69	10,55	89,43
Cerâmica, barranco alto	51	1014,10	15,05	84,93
Cerâmica, barranco bajo	38	1021,47	23,11	76,87

2.3- Composición final de la tierra para la reconstrucción

A partir de los ensayos se obtuvo una mezcla (Tabla 3) con 2 suelos para lograr los tenores de arcilla y arena ideales para la compactación, sin efectos perjudiciales sobre la estructura. El uso de cal en esta mezcla aporta propiedades de estabilización, obteniendo reacciones semejantes a las que ocurren con cemento, además de la reacción normal de carbonitación. Como esta reacción es limitada, considerando que depende de la presencia de CO₂ atmosférico en el interior de la muestra, la mayor contribución de la cal en este caso, es su capacidad de reaccionar con los minerales arcillosos. A fin de aumentar la resistencia del tapial a los esfuerzos de flexión, se empleó una fibra sintética de polipropileno corrugado de 50 mm de extensión, conocida como POLYCRET CR, para los casos de encastrado de los nuevos tapias con los antiguos.

Tabla 3- Composición de la mezcla para el tapial nuevo.

Muestra Cerâmica barranco alto	Muestra Cerâmica barranco bajo	Cal	Fibras sintéticas	Agua
180 litros	48 litros	4 litros	1 litro	10 litros, Variable

2.4- Empleo de barro reforzado

En la restauración se encontraron muchos espacios vacíos en la pared antigua con total imposibilidad de lograr buena compactación con pisones (Fig.5) y, para rellenarlos, se empleó un barro reforzado. Con escasos estudios del empleo de este material en Brasil, se buscaron fundamentos en trabajos sobre el empleo de suelo cemento, llegando así a una mezcla muy plástica con adición de una cola blanca marca NORQUITACK con agregado de fibras sintéticas (Tabla 4).



Fig.5 Unión de vacíos con barro reforzado

Tabla 4.- Proporciones empleadas de materiales en la mezcla de barro reforzado.

Muestra y origen	Cola Blanca	Fibras sintéticas	Agua
Cerámica barranco alto	NORQUITACK	POLYCRET CR	
48 litros	6 litros	½ litro	36 litros

2.5- Proceso de compactacion

El control de compactación del tapial se puede realizar de modo simple e intuitivo por el sonido del pisón al pegar en la tierra compactada. Un factor fundamental para el control de la compactación es el espesor de las capas de mezcla dentro de los encofrados.

También es muy importante considerar la posición del obrero durante la compactación para la ejecución del tapial. Se emplearon pisones de madera con cabo cilíndrico de 2,5 a 4,5 Kg de acuerdo con la siguiente secuencia de apisonamiento, indicado en la Tabla 5.

Tabla 5- Programación para uso de los pilones en la obra.

Secuencia del apisonamiento	Peso Total del pisón (Kg)	Dimensiones de los pilones en planta (cm)
Primera acomodación de la capa de tierra con ligera presión.	2,5	30 x 30
Apisonamiento de punta con presión.	3,5	20 x 15
Apisonamiento y achatamiento con presión fuerte.	4,5	20 x 20
Apisonamiento de punta con presión fuerte creando textura de encastre para la capa superior.	3,5	20 x 15
Apisonamiento en los cantos laterales para encastre con el tapial antiguo.	2,5	10 x 15

3- CONSIDERACIONES FINALES

En Brasil, las practicas de restauro empezaran en los años 30 con la creacion del Instituto do Patrimonio Historico Artístico Nacional-IPHAN, y solamente en los años 80, tenemos alguns estudios mas sistemáticos en busca de establecer conceptos y procedimientos de cantero de obras de restauración de estructuras de tierra.

En el trabajo que aquí se presenta, realizado a través de 2 años, se ha querido compartir las siguientes puntos que, se estima, fueron decisivos para lograr éxito técnico en la restauración del tapial de la iglesia Bom Jesus do Livramento:

- Es importante realizar muchos planos que representen la construcción existente a fin de documentar sus dimensiones y las patologías encontradas con la máxima fidelidade, para configurar el Relevamiento Arquitectónico, documento fundamental para las decisiones técnicas anteriores a las intervenciones propiamente dichas,
- Es fundamental realizar los diagnósticos y el trabajo en equipo multidisciplinar, para establecer con seguridad las normativas y procedimientos que permitan diagnosticar las fuerzas mecánicas actuantes en el edificio, antes de empezar las intervenciones propiamente dichas,
- Es muy importante definir las tareas y capacitar a los encargados del mantenimiento regular del edificio, respecto a todas las especificaciones de argamasas y tintas para el revestimiento, adecuadas para las paredes de tierra cruda,
- Es fundamental hacer la difusión para la comunidad, para esta poder conocer el punto de vista histórico cultural del edificio y del trabajo de restauración realizado, y tener todos los registros de las actividades desarrolladas en su ciudad, en su iglesia, para valorar el esfuerzo de mantener una edificación histórica,.
- Finalmente, incorporar lo más importante aprendido: es necesario tener mucha paciencia, cautela, herramientas adecuadas y cuidados extremos con la demolición de los pesados bloques monolíticos de tierra apisonada hace 200 años.

BIBLIOGRAFIA

- Taveira, E. Salmar Nogueira (1986). *O Solocimento no Campo e na Cidade: construir, morar, habitar*. Editora Ícone , San Pablo.
- CEPED, (1980). *Manual de Construção com Solocimento*. Projeto Thaba, Salvador.
- Bruno, P. (2006). *A conservação de paredes em terra crua - da análise à intervenção prática*, en Houses and Cities built with Earth. Lisboa, Argumentum, ISBN 972-8479-41-7], pp. 55-58.
- Carbonara, G. (org.). (2003). *Trattato di Restauro Architettonico*. Hoepli, Milán. Cóias, V. (2006). *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. IST Press, Lisboa.
- Gomide, J. H., Silva, P. R., Braga, S. M. N. (2005). *Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural*. Minc, Monumenta, <http://www.monumenta.gov.br>. Brasília.
- Gonçalves, C. (2007). *Restauração Arquitetônica. A experiência do Sphan en 1937-1975*. São Paulo: fapesp; Annablume, 2007 ISBN 978-85-7419-680-0. San Pablo.
- IBAPE (2002). Norma de Inspeção Predial. Coord. de Milton Gomes. IBAPE, <http://www.ibape-sp.org.br> San Pablo.

ICOMOS. *Recomendações para Análise, Conservação e Restauração Estrutural do Patrimônio Arquitetônico*. Trad. de S. Puccioni e A. Albuquerque. Brasília. IPHAN (2001). <http://www.iphan.gov.br>

ICOMOS. *Earthen Architecture Heritage, Bibliography*. Paris: Centro de Documentação de Arquitetura de terra do UNESCO-ICOMOS, 2009. Disponível em Hurd, J. (2006). *Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pise and Adobe in Seismic regions of Central Asia and Trans Himalaya*. California: World Monument Fund.

Jaquin, P. A., Augarde, C. E., Gerrard, C. M. (2006). *Analysis of Historic Rammed Earth Construction*, en Structural Analysis of Historic Constructions. Org. de P. Lourenço, P. Roca, C. Modena, S. Agrawal. Nueva Delhi.

Klüppel, G. P., Santana, Mariely Cabral de (coord.). *Manual de Conservação Preventiva para Edificações*. Minc, IPHAN, Programa Monumenta, s.d. <http://www.monumenta.gov.br>, Brasília. Lourenço, P. (2005). *Aplicações das recomendações ICOMOS sobre Conservação de estruturas antigas: do elemento construtivo à estrutura global*. Anais 2º Seminário 'A Intervenção no Patrimônio', Lisboa.

Mondragón, F. P., Lourenço, F. (2006). *Estruturas em Terra: comportamento e patologias* en Houses and Cities built with Earth, Argumentum, pp. 49-51. Lisboa.

Rilem (2005). *Investigative methods for the characterisation of historic mortars*. Part 1: Mineralogical characterisation. Org. de B. Middendorf, J. J. Hughes, K. Callebaut, G. Baronio e I. Papayianni, en Materials and Structures 38, octubre 2005a, pp. 761-769, <http://www.rilem.net>

Rocchi, P. (org.), (2004). *Trattato sul Consolidamento* Mancosu, Roma.

Santiago, C. (2005) *A terra nos tratados e nos manuais de arquitectura e construção*, en *Arquitetura de Terra em Portugal*, Argumentum, Lisboa, ISBN 972-8479-36-0, pp.248-251.

Santos, F. I. G., Rocha, J. C., Cheriaf, M. *Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas*, en *Revista Materia*, vol.12

Vasconcellos, S. (1978). *Arquitetura no Brasil, Sistemas Construtivos*.: IPHAN, UFMG, FUNDEP, Belo Horizonte.

Viñuales, G. M., Neves, C., Flores, M. O., Ríos, L. S., (eds), (1994) *Arquitetura de Tierra e Iberoamerica*. CITED, Buenos Aires.

Zevi, Luca, (ed.), (2003). *Il Manuale del Restauro Architettonico*. Mancosu, Roma.

BIOGRAFIA

Arquitecto Eduardo Salmar - esalmar@gmail.com
Profesor de Técnicas Retrospectivas en el curso de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Metodista de Piracicaba . Restaurador de Edificaciones Históricas construídas em taipa de pilão.

Arquitecto Marcos Tognon – tognon@unicamp.br
Profesor de História del Arte en el curso de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Estadual de Campinas. Coordinador del IPR/INOVA – www.e-science.



Geotechnical and structural testing in an archaeological massive earthen pyramid: Huaca de la Luna

Rafael AGUILAR, M. MONTESINOS, S. LOPEZ, C. SAUCEDO, E. RAMÍREZ,
G. ZAVALA, M. PANDO, R. MORALES, S. UCEDA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Huaca de la Luna is an archaeological complex built by the Moche civilization from 100 AD to 650 AD and is considered one of the major representative massive adobe constructions in Peru. Because of the importance of this monument, several in-situ and laboratory tests were carried out in different areas of this complex to evaluate its geotechnical and structural conditions. The aim of the research is to obtain accurate information to determine the characteristics of Huaca for further structural and risk studies. Experimental program results outline the foundation condition, mechanical characteristics of the adobe masonry and the diagnosis of some substructures. The most representative information for a proper structural analysis of the monument was gathered in this extensive field campaign and is presented in this paper.

1. INTRODUCTION

Peru is located in a region of high seismic activity and historically has been exposed to strong earthquakes. In addition, the north coast of the country has been affected by heavy rainfall events and flooding associated with the El Niño phenomenon. The archaeological complex of Huaca de la Luna (Figure 1a) is a monumental religious structure built from 100 AD to 650 AD in the north of Peru (Uceda and Morales, 2010). This complex is composed by six overlapped construction levels, denoted as A, B, C, D, E and F. Each level consists of three platforms and four squares.

The re-discovering process of Huaca de la Luna has left the structure vulnerable to different natural hazards. Furthermore, evidence of damage can be found in the actual site. Figure 1b shows a plan view of the complex with the hatched areas denoting the sectors of this monument where damage is present. Of particular interest are the areas with localized crack patterns at the NW corner and at the SW corner. Due to colonial treasure hunters, the structural stability of the Huaca has been affected by the several tunnels and cut along the north façade they produced in the past.

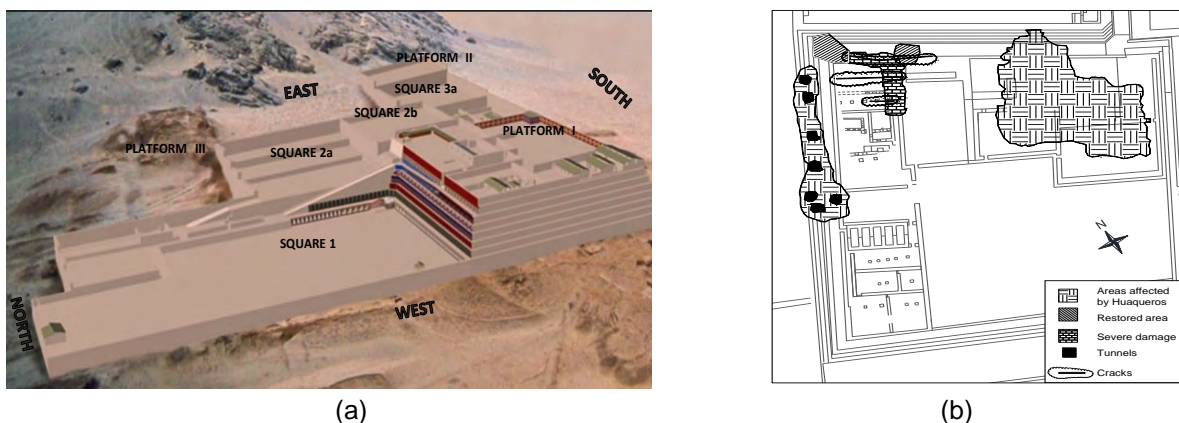


Figure 1. Huaca de la Luna: (a) general outline (b) observed damage (Zavala et al., 2015)

2. GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL SURVEYS

A large field investigation program involving geotechnical and geophysical tests was performed at Huaca de la Luna in 2014-2015. The geophysical and geotechnical program at this site included eleven Multichannel Analyses of Surface Waves (MASW) (Park et al., 1999) and Seismic Refraction test lines, four Seismic piezocone penetrometers (SCPTu)

soundings, two handauger borings and four plate load tests. This geotechnical program and its interpretation are described briefly in this section.

The MASW test lines were performed with different lengths, adapting them to the available area in the field. Five of these lines were done on Square 1 (see Figure 1a), which is located on the lowest part of the north façade, and three lines were performed on the urban zone which adjoins the west façade of the complex. The remaining three lines were done on Square 3A, on the south east area of the Huaca, where the bedrock layer is referred to be at a shallower depth based on the geology and closer to the surface. The four SCPTu soundings were performed on the north and west façade, reaching a maximum depth of approximately 12 m. Hand auger boring was used to extract some samples and to supplement previous tests. All the tests were used to produce an east-west and north-south profile.

In general the SCPTu results indicate that the foundation soils of the affected area comprised by medium dense to dense sand layer of about 5.5 m in thickness, underlain by an intermediate layer of gravel, followed by dense to very dense sand layer with a depth ranging from 6 to 11 m, which were underlain by a hard layer (presumably consisting of granite bedrock). The interpreted soil profile based on the SCPTu tip resistance, consist of four sand layers. Layer 1 has an average tip resistance ranging from 70 to 110 bar (medium dense sands). Layer 2 average tip resistance ranges from 175 to 240 bar (dense to very dense sands). Layer 3 average tip resistance ranges from 225 to 250 bar (very dense sands). Layer 4 average tip resistance ranges from 210 to 375 bar (very dense sands) and is underlain by a hard layer where refusal of the tip was met. Details can be found in Zavala et al. (2015).

The results of the hand auger boring and visual classification of the recovered soil samples indicate that the first layer on boring B-1 (near the north façade) is composed by silty sand, the next layers are sand and gravelly sand. On the boring B-2 (west façade) the superficial layer is poorly graded sand followed by silty sand and fragments of crushed adobes. These results complement the SCPTu results above.

Shear wave velocities profiles (V_s) were obtained from MASW, Seismic Refraction, and SCPTu tests. The values from different tests were compared in order to evaluate the main area of this study. Layer 1 has average shear wave velocities from 200 to 300 m/s. Average shear wave velocities of layer 2 ranges from 250 to 350 m/s. Average shear wave velocities of layer 3 ranges from 300 to 400 m/s. In layer 4, the average shear wave velocities ranges from 350 to 500 m/s. Average shear wave velocities ranges from 400 to 600 m/s in layer 5 and is underlain by a hard layer with shear wave velocity higher than 600 m/s. The last layer is considered a bedrock according to the shear wave velocity and references from other studies (Olona et al., 2010; Miller et al., 1999).

Figure 2 shows stratigraphic profiles for the northern and western façade which were interpreted using the SCPTu tip resistances and shear wave velocities from MASW, Seismic Refraction and SCPTu tests. Both profiles show the 5 layers which slope downward from east to west, generally following the slope of the hard layer (bedrock) outcrop east of the Huaca. The foundation soils in the NW corner area are comprised of medium dense (Layer 1) to very dense sands (Layers 2, 3 and 4), weathered rock (Layer 5) and are underlain by a hard layer that could be the bedrock.

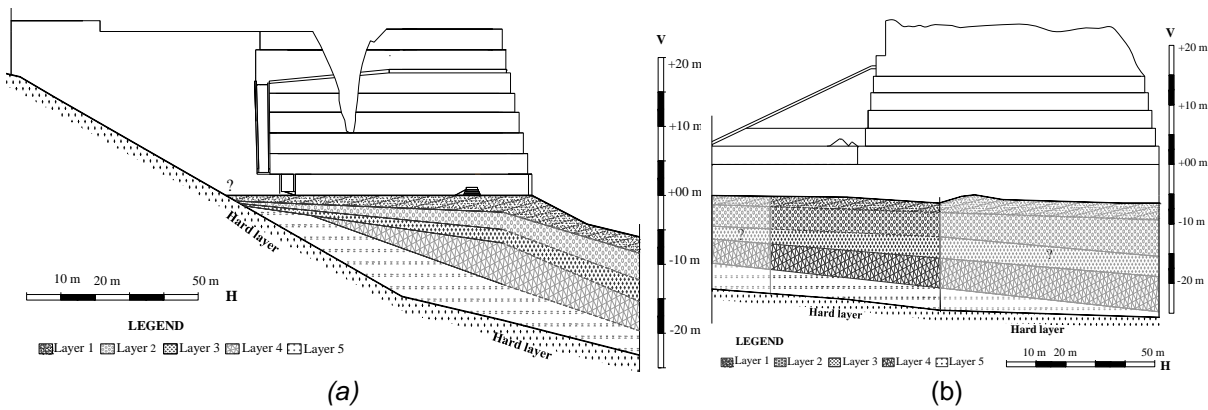


Figure 2. Soil stratigraphy profiles for the (a) the Northern façade and (b) Western façade

3. MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE STRUCTURAL SYSTEM

Mechanical characterization of the material of several structural elements of the Huaca de la Luna was carried out which consisted in the evaluation of adobes, mortar and masonry. The assessment of the components of the structural system (adobe and mortar) was done by means of compression (Figure 3a), flexural (Figure 3b), and splitting tests (Figure 3c). In the case of the adobe masonry, only compression tests were performed (Figure 3d).

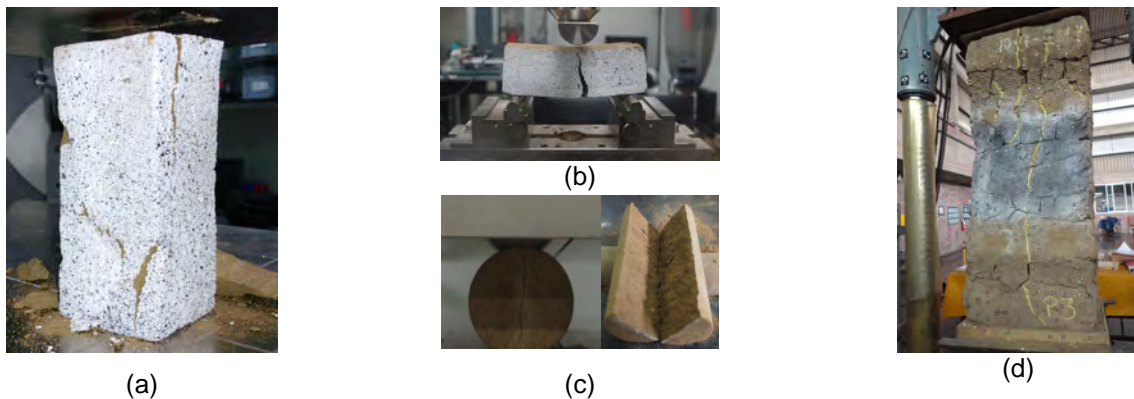


Figure 3. Mechanical tests (a) compression (b) flexion (c) splitting (d) masonry compression

Original adobe specimens and mortar pieces from the Huaca de la Luna were used for the determination of mechanical properties. Prismatic adobe specimens for compression and flexural tests of adobe were cut while cylindrical samples were re-molded for splitting. Mortar specimens were casted in molds, prismatic specimens were prepared for compression and flexion and cylindrical for splitting. For masonry characterization three prisms were built up using 5 adobe units (Figure 3d).

In all tests, the applied load was controlled by displacements, 0.50 mm/min for compression and 0.25 mm/min for flexion and splitting in the characterization of adobe and mortar. In the compression tests of masonry, displacement was applied at a constant rate of 0.25 mm/min. For the determination of the elastic properties, deformations of adobe and mortar specimens were tracked using a digital image correlation (DIC) system during compression and flexural tests. The deformations of the masonry prisms were measured using a four linear variable differential transformer and the DIC system (Ramirez et al., 2015).

The tests results of mechanical characterization tests are summarized in Table 1. The modulus of elasticity (E) was obtained from the compression tests strain-stress (Ramirez et al., 2015; Aguilar et al., 2015). The compressive strength was determined as the ratio

between the maximum force registered and the sectional area. Modulus of rupture (f_b) from three point bending and the splitting tensile strength (f_s) were calculated using expressions from the elastic mechanics.

Table 1. Mechanical properties of Huaca de la Luna components*

		E (MPa)	σ (MPa)	f_b (MPa)	f_s (MPa)
Components	Adobe	901 [43%]	1.28 [18%]	0.53 [26%]	0.25 [23%]
	Mortar	3174 [98%]	2.33 [32%]	1.03 [22%]	0.38 [25%]
Masonry	Prism	107 [25%]	0.36 [14%]	-	-

*Values in brackets parenthesis represent the variation coefficient

4. MECHANICAL CHARACTERIZATION OF SUBSTRUCTURES THROUGH SONIC AND OPERATIONAL MODAL ANALYSIS TESTS

Sonic pulse velocity tests (RILEM, 1996) were carried out on some substructures of this archaeological complex aiming at performing a qualitative evaluation. Two columns, one from Hypostyle Hall (C-1) and one from the Unit 16 (C-4), were assessed using direct testing. The direct sonic test consists on the determination of the velocity of mechanical P or S waves traveling from opposite points. The information of velocity is then used for the creation of 2D images, which reproduces the internal structure of an object. These images are associated to the heterogeneity of the material or the presence of cracks and defects (Binda, et al., 2000).

In the experimental program carried out in this work, an area of 0.45 m of width and 1.00 m of height was evaluated in each column using two accelerometers with a frequency range up to 15 KHz and a hand held steel ball impactor, as shown in Figure 4a. This area was divided in a rectangular grid of six rows and four columns spaced by 0.20 and 0.15 m, respectively. The grid was drawn from the center of the column to the lateral edges and the distance of the first row from the ground was approximately 0.90 m.

In C-1 the average velocity of the measured P-waves was 480 m/s, and the minimum and maximum velocity was 277 and 986 m/s, respectively. The mean velocity in C-4 was 614 m/s and the range of velocities varied from 357 to 1031 m/s. These results were very important to evaluate the uniformity/homogeneity of each element, as clearly shown in Figure 4b.

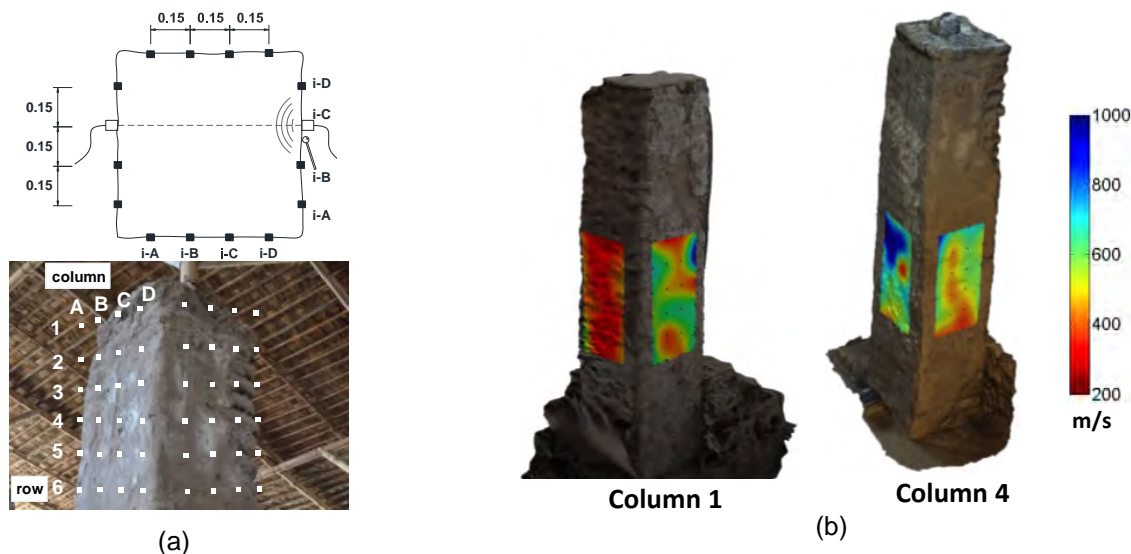


Figure 4. Direct sonic tests results: (a) test setup and grid, (b) resultant velocities in C-1 and C-4

The dynamic properties of four columns of Huaca de la Luna were identified through Operational Modal Analysis (OMA) tests. This paper presents only the results of the same columns C-1 and C-4 described in the previous Section. High sensitive piezoelectric accelerometers and high resolution data acquisition equipment were used for the signal acquisition (Figure 5). The Identification of the dynamic properties was carried out using the Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) and data-driven Stochastic Subspace Identification (SSI-data) techniques. The modal response of C-1 and C-4 are presented in Figure 5. As shown, the first two modes are translational and the third represents a torsional movement. More information about the dynamic behavior of the columns can be found in Chácará et al., (2014).

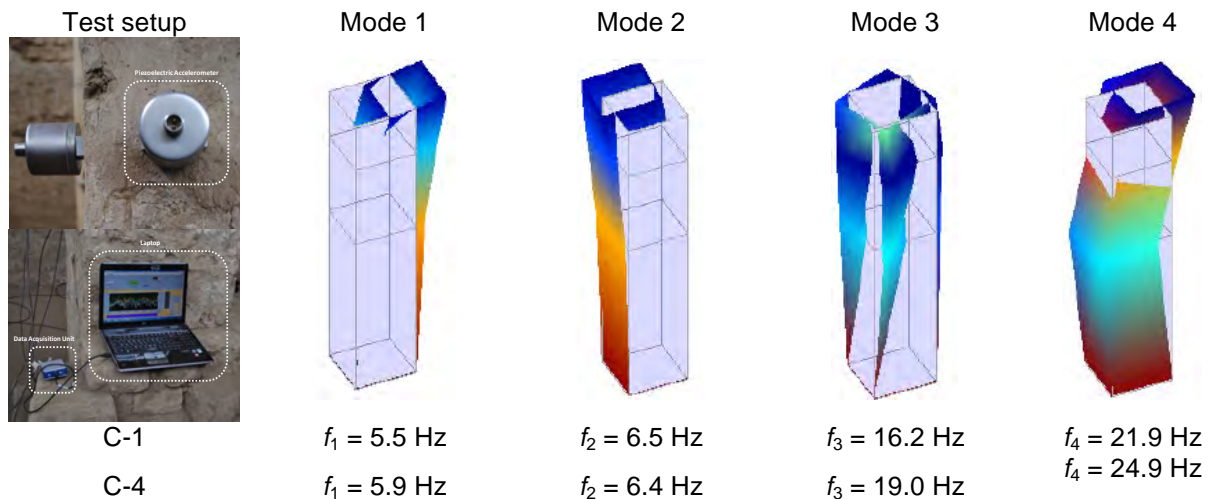


Figure 5. Modal shapes and frequencies of the adobe columns of Huaca (Chácará et al., 2014)

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The results of the performed field and laboratory tests will be used in the ongoing structural assessment of Huaca, comprising the main geotechnical and mechanical characteristics of this monument. This analysis includes the seismic hazard analysis, settlement analysis and dynamic soil-structure interaction under simulated seismic ground motions. Future work is aimed at implementing advanced finite element models and performing predictive structural analysis.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge DGI-PUCP project 89-2014 for providing funding for this research. The authors would also like to acknowledge the support of CONCYTEC for the funding of the graduate students performing this work. Finally, the authors thank the Material and the Structures Laboratory of PUCP for the access to their installations and testing equipment.

REFERENCES

- Aguilar, R.; Saucedo, C.; Montesinos, M.; Ramírez, E; Uceda, S.; Morales, R. (2015). Caracterización mecánica de las unidades del complejo arqueológico Huaca de la Luna mediante ensayos de ultrasonido. *15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT)*. Cuenca, Ecuador.
- Binda, L., Saisi, A., & Tiraboschi, C. (2000). Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries. *Construction and Building Materials*, p. 35.
- Chácará, C.; Zvietcovich, F.; Briceño, C.; Marques, R.; Perucchio, R.; Castañeda, B.; Uceda, S.; Morales, R.; Aguilar, R. (2014). On-site investigation and numerical analysis for structural assessment of the archaeological complex of Huaca de la Luna. *SAHC2014-9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*. Mexico City, Mexico.
- Miller, R.; Xia, J.; Park, C.; Inanov, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. *The Leading Edge*, 18(12), p. 5.
- Olona, J.; Pulgar, J. ; Fernández-Viejo, G.; López-Fernández, C.; González-Cortina, J. (2010). Weathering variations in a granitic massif and related geotechnical properties through seismic and electrical resistivity methods. *Near Surface Geophysics*, 8, p. 15.
- Park, C.; Miller, R.; Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), p. 9.
- Ramírez, E.; Montesinos, M.; Marques, R.; Morales, R.; Uceda, S.; Lourenço, P.; Aguilar, R. (2014). Análisis mecánico de albañilería arqueológica de adobe bajo cargas de compresión uniaxial: El caso de Huaca de la Luna. *3rd International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering*. Seville, Spain.
- RILEM Recommendation, TC 127-MS. MS.D.1 (1996). Measurement of mechanical pulse velocity for masonry. *Published in Materials and Structures, Vol. 29, Issue 8, October 1996, pp. 463-466*
- Uceda, S.; Morales, R. editors. (2010) Moche: pasado y presente. Trujillo, Patronato Huacas del Valle de Moche, Fondo Contravalor Perú Francia y Universidad Nacional de Trujillo.
- Zavala, G.; Lopez, S.; Pando, M.; Zegarra, J.; Morales, R.; Uceda, S.; Castañeda, B.; Aguilar, R. (2015) Geotechnical and geophysical exploration in archaeological heritage: initial assessment at Huaca de la Luna. *XV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Buenos Aires, Argentina.



Renouer avec la terre...

Se réappropriier le devoir de protection du patrimoine de terre crue

Isabelle MOULIS, Alain MARCOM, Michel THARAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

L'architecture vernaculaire de terre crue marque les paysages de Midi-Pyrénées. Pourtant elle est ignorée, comme invisible pour la population qui la côtoie, l'habite, la remanie... Conscients de la richesse des modes constructifs locaux, certains élus s'efforcent de conserver ce patrimoine majeur des territoires ruraux.

En réponse à une demande d'intervention sur deux sites emblématiques en Magnoac et Armagnac, nous avons engagé une recherche-action pluridisciplinaire (maçons, ethnologue et architecte) impliquant les habitants et élus. Cette communication rend compte de la participation des populations concernées dans la conservation du patrimoine de terre crue, qui renouvelle le débat public sur le devenir du patrimoine de terre, longtemps délaissé voire méprisé depuis la suprématie de l'ère industrielle..

Le recueil de la *mémoire des hommes et des lieux* et des témoignages d'habitants, élus et gens de métiers qui ont une expérience intime du site et une expertise citoyenne ou professionnelle du bâti éclaire sur ce qui fait sens pour chaque individu et pour le groupe. Leur participation à diverses animations contribue à leur sensibilisation et leur réappropriation du patrimoine bâti et met en lumière la *valeur culturelle* des architectures rurales de terre et l'importance des *corpus de savoir-faire* dont elles témoignent.

Cette reconnaissance partagée constitue un préalable pertinent à la mise en œuvre d'opérations concrètes de conservation et restauration, mais aussi et surtout de formation et transmission.

INTRODUCTION

Qu'elles soient en pisé, adobe, bauge ou torchis, les constructions en terre crue marquent les paysages ruraux de la région Midi-Pyrénées (France). Pourtant l'architecture vernaculaire de terre est ignorée, comme invisible pour la majeure partie de la population qui la côtoie, l'habite, la remanie...

Conscients de la richesse de ces modes constructifs locaux, certains élus s'efforcent de conserver ce patrimoine majeur des territoires ruraux. En réponse à une demande d'intervention sur deux bâtiments emblématiques : une grange en damiers d'adobes et galets, réhabilitée en pôle de santé, à Castelnau-Magnoac (Hautes-Pyrénées), et une demeure fortifiée en terre massive, colombage et torchis du XII-XV^{ème} siècle à Sainte-Christie d'Armagnac (Gers), nous avons engagé une recherche-action contribuant à l'émergence de projets de territoire basés sur les spécificités patrimoniales. Cette communication rend compte des modalités de participation des populations concernées, habitants, artisans et usagers, dans la conservation et la mise en valeur du patrimoine de terre crue, impliquant un arbitrage courageux et mobilisant des compétences et des interlocuteurs rares et spécifiques.

1. LE PATRIMOINE DE TERRE CRUE A REDECOUVRIR ET PROMOUVOIR

Distants d'une centaine de kilomètres, ces deux bâtiments ont fait l'objet d'une volonté forte de conservation de la part d'élus qui ont suscité une re-découverte de ce patrimoine en terre crue. Chacun de ces deux bâtiments emblématiques découle de modes de construction en terre crue très présents dans la région Midi-Pyrénées :

- L'appareillage singulier de briques de terre crue (adobes) combinées avec des galets selon un motif en damiers, caractéristique du Magnoac ;
- La terre massive (pisé) associée à du torchis en remplissage de pans-de-bois, à Sainte-Christie d'Armagnac (Gers).

1.1 L'architecture en damier du Magnoac

Elle se caractérise par un appareillage singulier de briques de terre crue (adobes), appelées localement « *mottos* », combinées avec des galets selon un motif en damiers, caractéristique du Magnoac (Fig.1).



Fig.1 : La grange de Carrole, à Castelnau-Magnoac (Hautes-Pyrénées) - © I.MOULIS

Ce mode constructif concerne plus de 2000 bâtiments, fermes, granges et dépendances agricoles sur un millier de km², répartis sur une trentaine de communes. Apparu et développé entre le milieu du XIX^{ème} siècle et le milieu du XX^{ème} siècle, il a été particulièrement analysé, techniquement et structurellement, sur la grange de Carrole, un bâtiment à Castelnau-Magnoac, réhabilité en Pôle de Santé (MOULIS et al., 2014). Malgré son omniprésence dans les campagnes du Magnoac, les habitants semblent ne pas ou plus voir cette spécificité qui, par son esthétique et son originalité, revêt une qualité particulière aux architectures paysannes de terre crue.

1.2 Les fortifications de terre massive de Sainte-Christie d'Armagnac

C'est la terre massive (pisé) associé à du torchis en remplissage de pans-de-bois (Fig.2) qui constitue les fortifications de Sainte-Christie d'Armagnac (Gers).



Fig.2 : Le « Castet » de Sainte-Christie d'Armagnac (Gers) - © I.MOULIS

Le « Castet » de Sainte-Christie est composé d'une fortification du XII^{ème} siècle contre laquelle est adossé un logis seigneurial en colombage du XV^{ème} siècle. IL correspond aux fortifications d'un site médiéval développé à proximité d'une motte castrale primitive, dont restent encore bien perceptibles la butte et les espaces libres la ceinturant. C'est autour du « castet » que s'est développé depuis le Moyen-Age le village de Sainte-Christie, avec son église paroissiale et son cimetière, et le regroupement de maisons d'habitation.

2. UNE DEMARCHE BASEE SUR LA PARTICIPATION

La notion de « patrimoine » résulte d'une appropriation par le plus grand nombre ; elle fait référence à ce que l'on fait collectivement d'une ville, d'un village, d'un territoire.

La démarche que nous avons engagée et que nous accompagnons repose sur les principes d'une recherche-action en ce sens que, pour nous, il est essentiel de combiner connaissance et opérationnalité, c'est-à-dire en privilégiant simultanément l'acquisition et/ou l'approfondissement de la connaissance du patrimoine et l'émergence d'un projet de territoire à la fois conceptuel, programmatique et très concret.

2.1 Le recueil de la mémoire des hommes et la mémoire des lieux

Dans un premier temps, nous avons abordé le territoire par la mémoire des hommes et la mémoire des lieux. Nous nous sommes intéressés à ce qui fait sens pour chaque individu et pour le groupe, notamment dans la relation très étroite qui existe entre les constructions en terre et la société paysanne dans laquelle elles ont été érigées. A travers le recueil de témoignages d'habitants, élus et gens de métiers qui ont une expérience intime du site et une expertise citoyenne ou professionnelle du bâti, nous avons progressivement fait renouer la population avec les principes constructifs et les fondements de la société paysanne, son organisation sociale basée sur des valeurs déterminant la société rurale d'autrefois... que beaucoup regrettent aujourd'hui.

Dans le Magnoac, au fur et à mesure des entretiens individuels, ce sont les maçons rencontrés qui ont peu à peu « recouvré » leur mémoire professionnelle (Fig.3), en prenant conscience du corpus de savoir-faire qu'ils tenaient de leurs pères (pairs) concernant la terre, matériau absolument délaissé après-guerre au détriment du ciment qu'ils avaient « appris tout seul(s) » (dixit) par observation et mimétisme sur les chantiers de reconstruction publics (écoles, mairie, gares...).



Fig.3 : Rencontre avec les anciens gens de métier -©A.MARCOM

Ce sont aussi les habitants qui, interpellés par notre intérêt pour l'architecture de terre crue et les spécificités du damier, ont progressivement réalisé à quel point ce motif était singulier et propre au Magnoac et à leur cadre de vie. Le travail sur la mémoire des lieux à travers l'histoire des familles a contribué à leur ouvrir les yeux et leur redonner fierté sur cet héritage des anciens, dont témoignent encore la conservation d'anciens outils ou de matériaux constructifs tels que les briques de terre crue (Fig.4). Peu à peu s'est révélé cet « héritage culturel » tant en terme de bâti que de savoir-faire, réhabilitant et nourrissant une fierté retrouvée du « bon sens paysan » qui faisait du beau et du solide avec ce qui était disponible, en terme de ressources et de main d'œuvre.



Fig.4 : Recueil de moules et autres outils anciens dans le Magnoac - © A.MARCOM

De même, le site du Castet revêt une importance incontestable dans la mémoire locale de Sainte-Christie d'Armagnac, la mémoire des lieux comme la mémoire des hommes. Tous ont une (ou plusieurs) anecdote(s) personnelle sur ce lieu remarquable ; la plupart des photos importantes (fiançailles, mariage, baptême...) ont été faites sur le site, avec les fortifications ou le logis seigneurial en arrière-plan... Cette importance collective de ce patrimoine de terre s'est traduite par des efforts considérables consentis par la collectivité : l'acquisition du Castet dans un premier temps, puis des demandes réitérées d'aides financières et techniques et la proposition de classement. Finalement, sans résultat concret, les élus ont décidé de prendre seuls en charge la conservation et l'entretien minimal de ce fleuron du patrimoine local : étude archéologique, diagnostic architectural, travaux d'entretien de la charpente, mobilisation d'un collectif bénévole de professionnels de la terre crue pour programmer les travaux indispensables à sa sauvegarde...

2.2 Les différentes facettes du patrimoine de terre crue

Parallèlement, nous avons conduit une analyse partagée de ce patrimoine, sur les différentes facettes qui le composent : architecturale, archéologique, historique, technique et culturelle...

Les repérages et observations de terrain ont été complétés par des recherches en archives (cartographies, iconographies anciennes, études ou documents d'érudits existants...), mais aussi par une mobilisation des habitants pour inventorier et regrouper les ressources et archives privées. C'est par cette participation de tous au collectage de

documents plus ou moins anciens que chacun s'est senti porteur et investi d'un rôle dans la continuation et la transmission de cet héritage commun.

Le Patrimoine que tous considéraient comme désuet, en mauvais état et/ou commun a, par l'intérêt architectural, technique, historique et culturel que nous lui portions, repris des lettres de noblesse, source d'intérêt et de fierté par leurs habitants, occupants ou propriétaires.

3. UN PROJET PARTICIPATIF AUTOUR DU PATRIMOINE DE TERRE CRUE

Au cours des diverses interventions sur le terrain auprès des habitants, un projet (participatif) s'est progressivement imposé à tous, constitué en premier lieu avec eux et enrichi le plus souvent par eux des principes fondateurs jugés majeurs pour nos interlocuteurs des territoires. Les personnes mobilisées ont pris conscience de l'expertise de leur expérience vécue du patrimoine et des sites, revêtant notamment :

- La valeur culturelle du patrimoine de terre,
- Le corpus de savoir-faire correspondants, largement menacé par la disparition des gens de métiers détenteurs des connaissances pratiques aujourd'hui délaissées ou oubliées,
- L'urgence d'organiser la transmission des savoir-faire ou, le cas échéant, de reconstituer les savoir-faire les plus importants, pour parvenir à la préservation, la mise en valeur et le partage de ce « bien commun »...

Outre la connaissance et la mémoire, nous travaillons également sur les pratiques, les gestes, en prise directe avec la matière, les outils et les émotions...

3.1 Redécouvrir et partager la valeur culturelle du patrimoine de terre

Questionner les habitants sur leurs expériences du patrimoine de terre et/ou sur leurs connaissances leur a progressivement permis de se réapproprier une partie de la mémoire locale, des savoirs traditionnels et des valeurs qui émanent des traditions rurales : entraide, autosuffisance, solidarité, gestion des ressources naturelles, économie solidaire, intensité sociale du travail, etc. A travers leurs témoignages, ils ont contribué à reconstituer une partie de l'histoire paysanne locale, notamment par les modalités de choix de la terre, par la localisation des lieux d'extraction du matériau à travers leur connaissance fine du territoire (carrières abandonnées, toponymes, sites en creux, etc.) et par les vestiges ou témoins des activités passées (stock d'adobes dans un hangar, moules à adobes, planches de coffrage, etc.).

De même, interroger les gens de métiers leur a progressivement fait prendre conscience des connaissances tout à fait élaborées des modes constructifs de terre crue, malgré leur relation très ténue avec les savoirs paysans des cultivateurs. Certains ont reconnu les qualités intrinsèques du matériau « terre » qu'ils avaient appris par transmission familiale et/ou immersion sociale.

Il convient cependant de noter que les usagers ont une posture différente qui combine des appréciations subjectives (esthétiques notamment) et des représentations culturelles d'un mode de vie certes en partie révolu mais très humain, une forte adéquation du patrimoine bâti à son environnement naturel et paysager et à la disponibilité des ressources du territoire et, selon le contexte, la singularité du site historique (Sainte-Christie d'Armagnac) ou au contraire l'omniprésence paysanne des constructions en damiers (Magnoac).

3.2 Reconquérir les gestes et le rapport intime avec la terre

L'organisation de visites guidées, de conférences et de journées de découverte pour le grand public (Fig.5) a contribué à valoriser une connaissance du matériau et de souvenirs individuels plus ou moins précis ou fiables, qui s'inscrivaient tous dans une histoire familiale mais aussi collective de la société rurale et paysanne.



Fig.5 : Journée de découverte du patrimoine de terre de Sainte-Christie d'Armagnac (Gers) - © I.MOULIS

Pour aller plus loin dans l'évocation de cette mémoire locale et dans la reconnexion d'une expérience intime de chacun avec le « matériau terre » et le corpus de savoir-faire, ont été proposées et organisées diverses animations de chantiers participatifs (Fig.6) et de journées d'informations techniques, destinées à un public ciblé, tout particulièrement élus, habitants, artisans et usagers.



Fig.6 : Atelier participatif avec la terre de Sainte-Christie d'Armagnac - © I.MOULIS

La mobilisation « au pied du mur » et « les mains dans la terre » s'est faite à la fois dans la légèreté et la convivialité, et aussi dans le respect et l'émotion de renouer avec ce qui faisait le quotidien des gens d'autrefois et, finalement, de se réapproprier des gestes

oubliés... une émotion non contenue, mêlée de regrets face à ces savoir-faire tombés en désuétude malgré leurs fondements d'une indéniable actualité.

3.3 Organiser la transmission des savoir-faire

A terme, cette mobilisation grandissante des acteurs locaux devrait se concrétiser par l'organisation de chantiers-écoles pour former de nouveaux gens de métiers. Le projet d'un itinéraire des savoir-faire des constructions de terre crue, à travers tout le territoire, devrait relier (entre autres) ces deux bâtiments et sites emblématiques de Castelnaud-Magnoac et Sainte-Christie d'Armagnac. En partie porté par les élus du territoire, mais aussi par le milieu associatif, il devrait à terme aboutir au montage de sessions de formation par apprentissage ou insertion et de professionnalisation, pour le redéploiement d'une véritable filière professionnelles et une reconnaissance des métiers de la terre.

Par ailleurs, c'est d'ailleurs cette forte mobilisation citoyenne pour « *mettre les mains dans la terre* » pour sauver le château et mobiliser les professionnels bénévoles qui a finalement abouti au classement du patrimoine de terre crue de Sainte-Christie d'Armagnac au titre de Monument Historique, après 30 ans d'efforts et de demandes réitérées du Maire et l'acquisition par la collectivité pour des aides à la restauration, ou du moins à l'entretien a minima (reprise de toiture, soutènements...) !

CONCLUSION

La méthodologie mise en œuvre dans la recherche-action dont nous rendons compte ne prétend pas être transposable directement Mais elle mobilise et combine différentes approches et activités qui contribuent, assurément, à une réappropriation du matériau « terre » et des savoir-faire associés par les acteurs des territoires :

- Collectes de documents, archives officielles comme privées ;
- Recueil de témoignages d'artisans (anciens maçons), mais aussi habitants et usagers, qui ont une expertise intime du patrimoine ;
- Confrontation de la mémoire aux conditions réelles de chantiers et/ou de mise en œuvre ;
- Prise de conscience des perceptions des extérieurs (« étrangers ») et fierté de l'intérêt suscité par ce patrimoine... et y trouver plus de sens encore
- Organisation d'évènements grand public pour échanger des connaissances et/ou des expériences vécues ;
- Alimenter la réflexion collective et collégiale par des expertises ponctuelles (maçons, archéologues, architectes, techniciens, historiens, etc.)...

La prise en compte des valeurs locales du patrimoine en terre crue permet de partager l'analyse architecturale et archéologique des édifices avec les acteurs locaux dont ils signent le cadre de vie. Cela permet aussi de définir ce qui doit être conservé et pour quelles raisons, ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour que ce patrimoine ait fonction d'héritage pour l'ensemble de la société rurale qui en a la charge, qu'il s'agisse d'élus, de gestionnaires institutionnels ou associatifs ou de propriétaires privés. A ce titre, la pluridisciplinarité de notre approche favorise et renouvelle le débat public sur le devenir du patrimoine de terre, longtemps délaissé, voire ignoré par mépris généralisé vis-à-vis de ce matériau traditionnel depuis la suprématie de l'ère industrielle...

Une telle participation « sensible » des habitants les incitent à s'impliquer davantage dans divers évènements organisés pour mettre en lumière la valeur culturelle des architectures rurales de terre et l'importance des corpus de savoir-faire dont elles témoignent. Conférences-débats, expositions, visites guidées, jeux de piste sont autant de moyens de

« faire vivre » ce bien commun. Mobilisant directement les acteurs locaux, ce type d'animations contribue à sensibiliser et se réappropriier les lieux et le patrimoine bâti qui, peu à peu, devient repère et élément d'appartenance et de fierté collective pour le territoire.

Cette reconnaissance partagée constitue un préalable pertinent à la mise en œuvre d'opérations concrètes de conservation et restauration, mais aussi et surtout de formation et transmission.

En abordant le bâti en terre crue sous différentes facettes, s'est imposée aux habitants la nécessité de valoriser les savoir-faire spécifiques de ces modes constructifs, qui ont pu évoluer au fil des générations, notamment à travers la création d'itinéraires de découverte, l'organisation de stages d'initiation et de chantiers-écoles, et le projet de sessions de formation aux métiers de la terre crue.

Ainsi, ce qui est en jeu dans la conservation du patrimoine de terre crue, qu'il s'agisse de monument archéologique et historique tout à fait exceptionnel ou d'architecture paysanne plus « commune », omniprésente dans les paysages ruraux, c'est la reconnaissance, la sauvegarde et la transmission des savoir-faire sans lesquels ce patrimoine n'est que matériel.

BIBLIOGRAPHIE

Aubert, J.E. et al. (2015). *Chequered earth construction in south-wertern France*. IN : Journal of Cultural Heritage. 2014.

Moulis, I. et Marcom, A. (2014). *Murs en damiers de terre crue en Magnoac : renouer le fil de l'histoire des constructions paysannes*. IN : 2^{ème} Congrès Francophone sur l'Histoire de la Construction, Lyon, 29-30 janvier 2014.

Moulis, I. et al. (2014). *The earthen checkered architecture (adobes and pebbles) of Magnoac (France) : for a revaluation of sustainable material with the current population*. IN : VerSus 2014 / 2nd MEDITERRA / 2nd ResTAPIA, Valencia (Espagne), 11-13/09/2014.

Moulis, I. et al. (2013). *The earthen vernacular architecture of Midi-Pyrenees (FRANCE) : dialog about know-how and sustainable art of building between past and actual builders*. IN : International Conference Vernacular Heritage & Earthern Architecture, CIAV 2013, Vila Nova de Cerveira (Portugal), 16-20/10/2013.

NOTICES BIOGRAPHIQUES DES AUTEURS

Consultante en Ethnologie du Patrimoine & Architecture, l'ambition professionnelle d'**Isabelle MOULIS** est de contribuer à (re)mettre les hommes au cœur des projets de territoire pour un développement durable. Membre d'ICOMOS CIAV et ISCEAH, elle travaille principalement sur la préservation et la mise en valeur du patrimoine architectural, urbain et paysager, historique et archéologique, naturel et culturel.

Alain MARCOM pratique à la construction en terre au sein de la coopérative ouvrière autogérée co-fondée en 1987 : SCOP Inventerre. Maçon, il milite pour l'écologie dans le bâtiment et la reconnaissance des savoir-faire liés aux matériaux écologiques, en participant à la rédaction des règles professionnelles françaises. Dans son ouvrage Construire en terre-paille, il tire les enseignements de ses chantiers.

Architecte honoraire, **Michel THARAN** a travaillé sur les constructions en terre du sud-ouest, notamment au sein du CAUE du Gers, en organisant notamment diverses opérations de sensibilisation et/ou formation de publics scolaires (collèges, lycées). Au sein de l'association Les Bâisseurs du Patrimoine, il œuvre pour la reconnaissance et la transmission des savoir-faire des gens de métiers des constructions traditionnelles.



Conservación del mural sobre adobe *Los Bebedores*

Dulce María GRIMALDI, Nora PÉREZ, José ORTEGA, Luis Ángel VILLA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

El proyecto de conservación de la pintura mural sobre adobe de *Los Bebedores* ha desarrollado diversos estudios para entender el problema de conservación que los murales presentan actualmente. Se trata de un mural de uno de los edificios de la ciudad prehispánica de Cholula, una de las más importantes en el mundo mesoamericano, en la parte central del actual México.

El artículo expone los resultados de los estudios de composición del soporte de adobe y junta de tierra, su comportamiento frente a la humedad, el análisis de las condiciones ambientales, así como la evaluación de los tratamientos aplicados por el proyecto entre 2009 y 2012. Los resultados permiten comprender el deterioro en este sitio en donde la combinación de materiales constitutivos, tratamientos previos y el incremento activo de las filtraciones de aguano favorecen su conservación. El estudio apunta a la necesidad de corregir el problema de conservación mediante el diagnóstico, monitoreo y control de la humedad al interior del Edificio 3.

INTRODUCCIÓN

La pintura mural de *Los Bebedores* (200 d.C.) decora la fachada de una subestructura del Edificio 3, al sur de la Gran Pirámide de la Zona Arqueológica de Cholula (200 a.C. al 800 d.C.) (Fig. 1). Tiene alto valor estético e iconográfico ya que representa escenas rituales de la segunda ciudad en importancia en el Altiplano Central después de Teotihuacán (Gendrop 1971). El estudio y conservación de esta pintura se lleva a cabo desde 2009 por la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). El proyecto en curso tiene como antecedente la colaboración, entre 2004 y 2009, con el Instituto Getty de Conservación para el “Estudio de Factibilidad para la Evaluación de Tratamientos Previos” (Myers y Grimaldi 2009) y en el 2009, con la Universidad de Florencia para el uso de nanomateriales para su conservación (Grimaldi y Castro 2009).



Figura 1. Ubicación del edificio que contiene el mural de *Los Bebedores* (en rojo). (Foto: Grimaldi).

La intervención entre 2009 y 2012 logró estabilizar los problemas de conservación en la pintura mural y su soporte, principalmente representados por cristalización de sales en superficie, capa pictórica disgregada y con desprendimientos de escamas, soporte de adobe disgregado y con oquedades. Sin embargo, a partir del año 2013 se observó un retroceso en el estado de conservación del mural, del soporte de adobe y de la estructura arquitectónica donde se encuentra.

Actualmente la pintura de *Los Bebedores* presenta un estado de conservación inestable, aparentemente asociado al incremento de humedad en los muros del edificio. Este texto presenta los avances del estudio realizado para comprender los mecanismos de alteración que incluyen la caracterización del mural, el estudio del comportamiento de la humedad en el material de soporte y el impacto de la misma sobre la pintura y los tratamientos previamente aplicados, a partir de una metodología de investigación cuyo producto se espera auxilie en la toma de decisiones de conservación.

1. DESCRIPCIÓN

La escena muestra a más de 100 personajes en una ceremonia relacionada con la siembra o con la recolección de la cosecha por bebedores de pulque, bebida fermentada de origen prehispánico (Marquina 1971) (Fig. 2), la cual decora un muro construido por secciones a manera de cajones de adobe y junta de lodo. Los cajones se disponen a manera de tareas y entre cajones los adobes varían en color, textura, dimensión y forma. La junta es en ocasiones tan gruesa o inclusive más que el adobe mismo. El muro va recubierto por un aplanado compuesto por arena, calcita, carbón, cuarzo y contaminación de yeso. La técnica pictórica es temple con pigmentos minerales; el aglutinante no se ha podido identificar a la fecha (Huerta 1990, Myers y Grimaldi 2009).

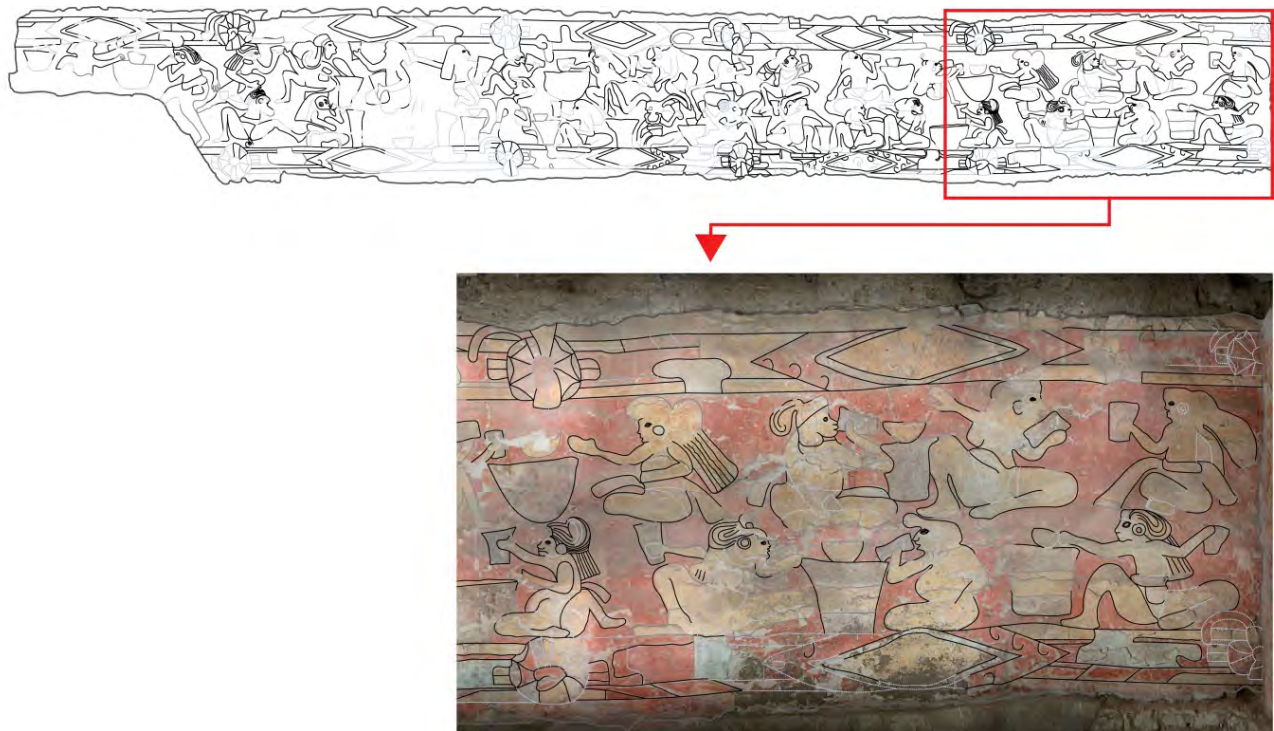


Figura 2. Detalle del mural. (Dibujo: Osorio y Muñoz 2015, Foto: Martínez Bronniman y Mendoza 2008).

La liberación del mural de *Los Bebedores* (1969-1970) se realizó al interior de túneles de exploración, debajo de otras etapas constructivas, a 3m bajo el nivel del piso exterior (Grimaldi 2015). La intervención arqueológica incluyó el uso extensivo de cemento, mientras que la primera intervención de conservación empleó polímeros sintéticos en diversos tratamientos con resultados satisfactorios en el corto plazo (López y Grimaldi 2007). Casi la totalidad de los túneles fueron revestidos con cemento a partir de 1970 para asegurar la estabilidad de los túneles y permitir la visita (Fig. 3). Sin embargo, al no contar con condiciones óptimas, los túneles han permanecido cerrados al público desde su exploración.

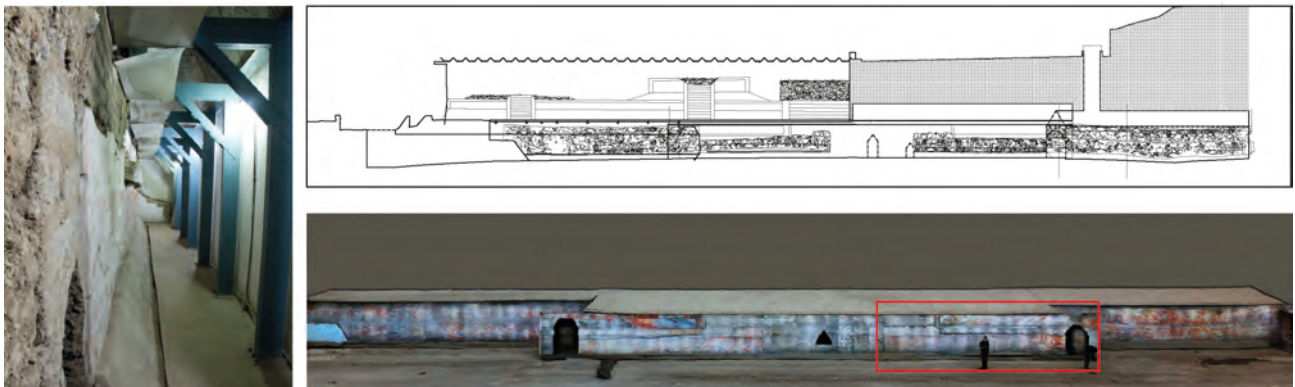


Figura 3. Túneles donde se ubica el mural (Plano retomado de INAH-GCI 2008, Maqueta: Marcela Mendoza, Foto: Grimaldi).

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

A partir del 2013 los túneles presentaron con mayor frecuencia colapsos de adobe y piedra de las subestructuras superiores. Mientras tanto, el crecimiento de grandes y pequeñas raíces que atraviesan los muros ha incrementado. El sistema de adobe y junta del soporte presenta también nuevas oquedades, acelerada disgregación, así como fisuras y grietas que llegan hasta la superficie del muro. En la pintura mural han reaparecido la disgregación y desprendimiento en escamas, formación de sales y proliferación de hongos en superficie, e inclusive el desprendimiento de fragmentos del mural.

El incremento en el deterioro ha sido reportado como consecuencia del aumento en la humedad al interior del Edificio 3, favorecida por su ubicación y por el insuficiente mantenimiento del conjunto de estructuras. La humedad pareciera penetrar desde la parte superior del edificio a través de fisuras y material de relleno sin compactación, así como por cavidades realizadas por animales, lo que incluye el acarreo de sales hacia la superficie del muro. Una vez que la humedad ha penetrado, el muro que soporta la pintura mural es el único frente para la evaporación de humedad en esta subestructura. La marcada fluctuación de humedad entre el ciclo de lluvias y sequía en Cholula se refleja al interior del edificio.

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Los estudios que se llevaron a cabo tuvieron como objetivo explicar el incremento de deterioro del mural a partir del 2013. Para ello se consideró necesario caracterizar al material constitutivo del soporte para deducir su relación con el deterioro observado en la pintura mural, entender el comportamiento de la humedad y su vinculación con los

procesos de deterioro y evaluar el comportamiento de los tratamientos aplicados previamente (2009-2012) frente a la humedad reportada.

3.1. Estudio del soporte de adobe y junta de tierra.

Los análisis de Difracción de Rayos X (DRX) en las muestras¹ indican que en su composición existen cinco fases cristalinas principales: aluminosilicatos de sodio-calcio (plagioclasa), cuarzo, CT ópalo, piroxeno y anfíbol, y una fase amorfa significativa (Pérez et al. 2015). La composición elemental medida por Fluorescencia de rayos X portátil (pXRF)² corresponde a las fases cristalinas identificadas, con una proporción elemental muy similar (Fig. 4), indicando una misma composición y en correlación con los resultados de DRX un mismo arreglo mineral.

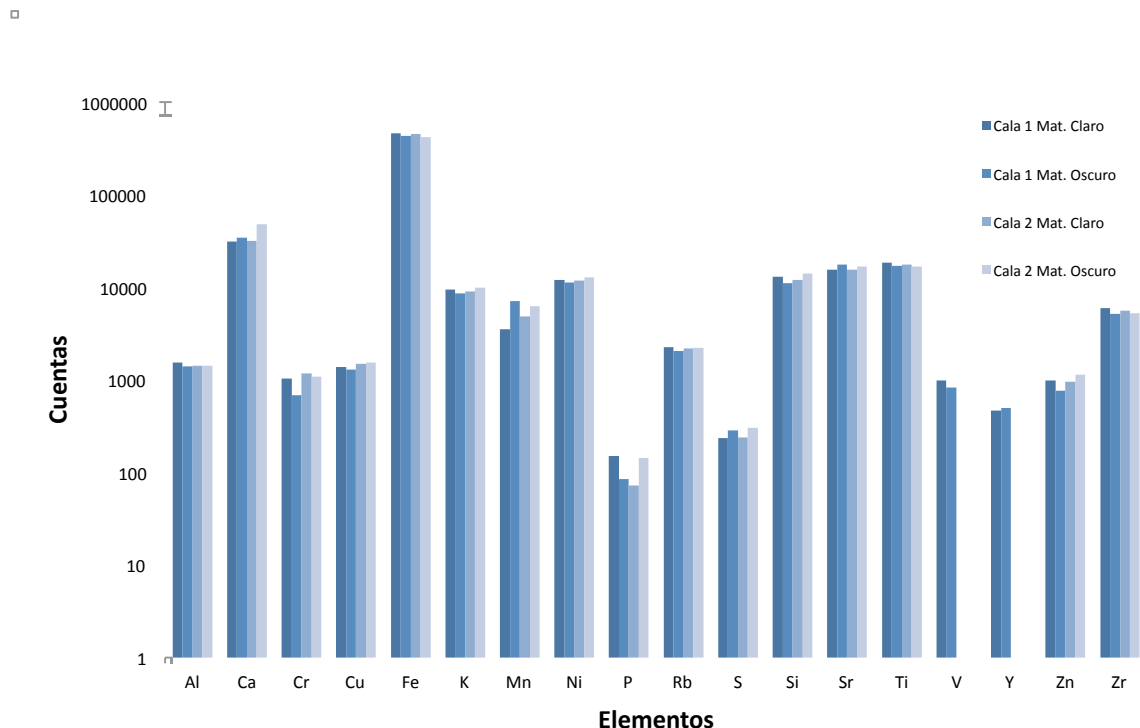


Figura 4. Resultados del análisis de pXRF de adobes y juntas con diferente color.

A partir de los resultados anteriores, se determinó que la composición elemental y mineral de los adobes y las juntas es muy similar a pesar de las diferencias físicas y de comportamiento observadas a simple vista. La principal diferencia entre los adobes analizados es la proporción entre tamaño de granos, según lo registrado con microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

Los materiales de tamaño de grano fino (menor a 74µm) entre los que se encuentran las arcillas (tamaño menor a 2µm) son de gran importancia ya que tienen una fuerte influencia en la plasticidad, cohesión y comportamiento mecánico de los adobes y actúan para fortalecer los contactos entre partículas cristalinas (Horn et al. 1994, Wan y Kwong 2002). La observación realizada al microscopio mostró que la afectación del estado de conservación de los adobes no es debida a la presencia y alteración de la estructura cristalina de las arcillas minerales³ sino a la pérdida del material fino que une los otros

¹ Indistintamente de adobe o junta de tierra.

² Análisis realizado en junta y adobe.

³ La AIPEA (Association Internationale pour l'Etude des Argiles) define arcilla mineral como minerales de tipo filosilicato y otros minerales que imparten plasticidad y endurecen al calentarse. (Guggenheim y Martin 1995).

granos del adobe y brinda cohesión y estabilidad (Fig. 5) (Guggenheimy Martin 1995). Se hace énfasis en denominar material fino puesto que esta fracción está compuesta de alófano y otros materiales amorfos como vidrio volcánico, opalo y ferrihidrita, que tienen un papel importante en las propiedades de cohesión al ser aproximadamente el 30% del material fino (Pérez et al. 2015).

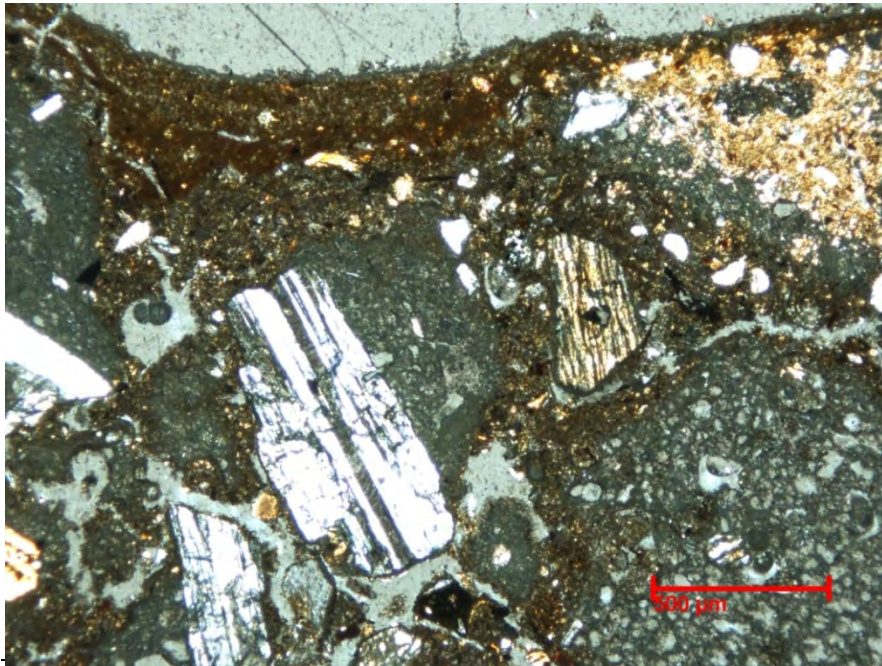


Figura 5. Espacios vacíos (flecha) debido a la pérdida del material de grano fino. (Cortesía y fotografía C. Ramírez)

Por tanto, en el caso de los adobes del mural de *Los Bebedores*, la pérdida por erosión o arrastre del material fino afecta directamente la conservación del adobe, no sólo por la pérdida del alófano como material constitutivo, sino también por la pérdida del resto del material fino que se encuentra ya reportado como muy importante para la cohesión en arquitectura de tierra (Doat et al. 1990, CONSECAL 1990). La erosión de las construcciones de tierra debido a la presencia de agua es un proceso registrado en múltiples casos de estudio, aunque en varios de esos casos se reporta como un fenómeno de arrastre de la totalidad del material de tierra (Bendakir et al. 2011, Dehkordi et al. 2011), a diferencia de este caso de estudio donde se hace énfasis en el arrastre del material de grano fino por el agua (Fig. 6 y 7).



Figura 6. Superficie previa a exposición al agua. (Foto: Pérez)



Figura 7. Superficie posterior a exposición al agua donde se observa arrastre de material fino. (Foto: Pérez)

3.2. Estudio del comportamiento del soporte frente a la humedad.

El efecto de la humedad en el sistema adobe-junta se midió mediante dos pruebas de metodología indirecta que brindan una aproximación al comportamiento del soporte de tierra frente a la humedad: 1) con el agua transferida directamente y 2) con su exposición a la humedad ambiental. En el primer caso, a probetas elaboradas mezclando material original de adobe y de junta del sitio se les agregó agua gota a gota hasta observar la falla del material. Por otra parte, el efecto de humedad ambiental se midió colocando probetas igualmente de adobe y junta en un dispositivo durante 1 mes, a 100% de Hr. Los resultados muestran que la humedad ambiental no perjudicó la integridad estructural en el periodo de prueba, mientras que el agua transferida causó la fractura del adobe al acumular 0.40 ml/g mientras que el material de junta se fracturó a los 0.28 ml/g (Arciniega 2013). No se descarta por ello que la suma de condiciones de alta humedad ambiental y un alto contenido de agua en el soporte, como sucede en el caso de *Los Bebedores*, tenga resultados negativos para el mural en un menor tiempo de exposición.

3.3. Estudio de distribución de humedad en el soporte del mural.

Se midió la distribución de humedad en el muro con mayor alteración en la capa pictórica, muro al norte del edificio, empleando el método de resistividad eléctrica. Se colocaron, a manera de agujas, electrodos de acero inoxidable de 1/64" de diámetro en posición perpendicular a la superficie, penetrando menos de 1 cm sobre áreas con faltante de capa pictórica. A partir de ello se adquirieron los datos de tomografía eléctrica en líneas paralelas entre si incluyendo la parte central del mural. Con estos datos se realizó el procesamiento para obtener un modelo de resistividad en 3D que demuestra el desplazamiento y zonificación de la humedad en el mural. El estudio se llevó a cabo durante el mes de mayo, temporada de mayor sequía en la región, en donde el modelo en 3D puso de manifiesto que hay una importante concentración de humedad en la parte posterior del muro (Fig.8), la cual no se distribuye en forma homogénea; la humedad en algunas secciones se desplaza a una profundidad aproximada de 1m en época de sequía y avanza hacia la superficie durante la época de lluvias.

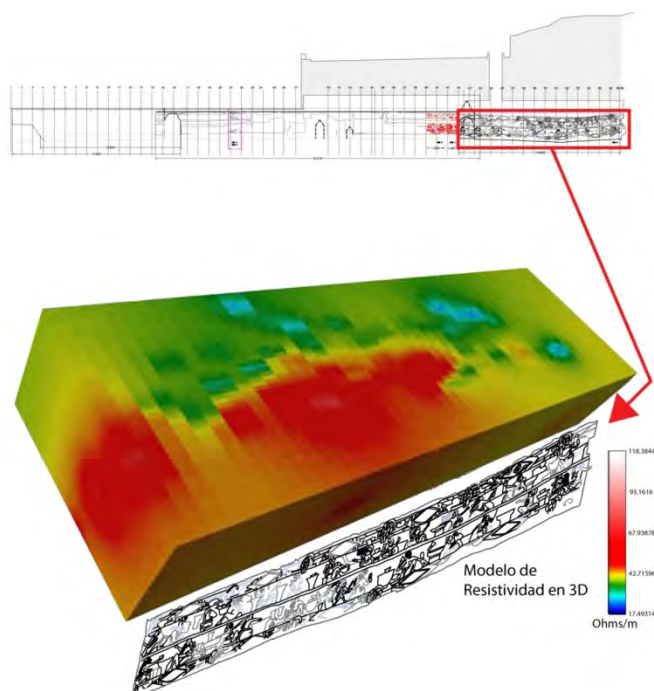


Figura 8. Resistividad 3D. (Plano INAH-GCI 2009, Imagen 3D: Ortega y Villa).

3.4. Análisis de las condiciones ambientales y de humedad en la superficie.

Este estudio comparó los registros realizados del 2006 a la fecha en la humedad ambiental y de la superficie del mural. Para ello se compararon los resultados del monitoreo desarrollado por el proyecto de colaboración INAH-GCI (2006 al 2008)⁴ con el registro desarrollado por el proyecto en curso (2011-2015).

El monitoreo de humedad relativa en el ambiente se desarrolló empleando seis dataloggers Rotronics Hygrolog-D en sectores representativos de las condiciones a lo largo de los túneles (2006-2008), y cuatro dataloggers USB, marca HUATO, modelo HE-173 (2015)⁵.

La medición de humedad en la superficie se realizó calculando la relación entre el porcentaje de la presión de vapor actual y la presión de saturación de vapor en cada posición a partir de mediciones de temperatura y humedad con un equipo manual Vaisala HM34 y un termómetro digital infrarrojo Mikron IR Man, de noviembre del 2006 a noviembre del 2008 (Myers y Grimaldi 2009). Para el registro del 2015 se empleó un termómetro infrarrojo marca HUATO, modelo HE8830, mientras que las lecturas de humedad y temperatura ambiental se tomaron de lo reportado por el datalogger más cercano.

El análisis de los resultados señaló un claro incremento entre los registros desarrollados en 2006-2008 y aquellos del 2015 respecto a la humedad del ambiente y en la superficie. Los niveles de humedad relativa incrementaron del rango entre 78% y 83% (en 2006 y 2008) (Myers y Grimaldi 2009) a 80.5% y 99.9% (2015). Por su parte, la humedad en superficie estimada de 77% a 79%, mostró un comportamiento similar a lo largo de la superficie del mural en el monitoreo entre 2006 y 2008 (Myers y Grimaldi 2009), mientras que para el 2015⁶ el rango incrementó y presentó una mayor variación a lo largo de la superficie del mural entre 67% y 100%.

3.5. Evaluación de los tratamientos aplicados por el proyecto entre 2009 y 2012.

Se evaluaron el material empleado como pasta para inyectar oquedades y re-adherir desprendimientos del soporte, así como el material utilizado en los resanes aplicados en sustitución de aquellos de la primera intervención (1969-1970). El objetivo fue el determinar su desempeño en las condiciones actuales y determinar la posible influencia de los tratamientos aplicados en la pintura y su soporte en el aceleramiento de los procesos de alteración debido a la modificación de la permeabilidad de los materiales originales o la concentración de humedad.

Dos pastas para inyectar oquedades en el soporte de adobe se evaluaron: la primera a base de tierra, microesferas de vidrio S22, arena e hidroxipropilcelulosa de nombre comercial Klucel GTM disuelta en agua en concentración del 1% (no más de 2.5 v: 5 v: 1 v: y 2 v), y la segunda compuesta por tierra aglutinada con Klucel GTM al 1% en agua. La pasta con microesferas mostró una separación de fases por sedimentación y formación de una película en superficie de carácter hidrófobo. En comparación, la pasta a base de tierra y Klucel GTM mostró distribución de partículas regular, por lo que se escogió como mejor opción.

⁴Programa de monitoreo ambiental desarrollado por Maekawa y Beltran del Instituto Getty de Conservación.

⁵Resultados del monitoreo del 2015 comprendido entre mayo y julio.

⁶Resultados del monitoreo comprendido entre mayo y julio de 2015.

Por su parte, la permeabilidad de la pasta nueva, a base de tierra y Kulcel G™, empleada para substituir los resanes previos a base de cal-arena-polímero sintético se probó midiendo el tiempo de absorción de una gota de agua en la superficie⁷. La absorción del soporte original de adobe (1-2s) y la de los resanes nuevos a base de tierra y Kulcel G™ (2s) resultó similar, a diferencia del comportamiento de resanes de cal-arena-polímero sintético aplicados en la intervención de 1969-1970 (4-20s).

CONCLUSIONES

El problema de conservación que actualmente se observa en el mural de *Los Bebedores* es resultado de un sistema en donde el incremento de humedad en el Edificio 3 impide su correcto funcionamiento. Los estudios realizados resaltaron el papel del agua en el proceso de alteración del soporte de la pintura mural, y determinaron que la presencia fluctuante de humedad en el muro favorece su deterioro. Así mismo, pusieron de manifiesto el notorio incremento de humedad en el muro y en el ambiente en años recientes. Así mismo, mostraron que la alteración se debe principalmente a la presencia de humedad en el muro debido a filtraciones de agua, sin que la humedad ambiental guarde la misma relevancia. Finalmente, apuntan a la necesidad de dar seguimiento a los tratamientos de conservación previamente aplicados, respecto a su capacidad de soportar las condiciones que existen en el mural.

Es en consecuencia necesario que se corrija el problema de conservación del mural mediante el diagnóstico, monitoreo y control de la humedad al interior del Edificio 3, a través de la participación de un equipo interdisciplinario, basando las decisiones de conservación en el análisis de la información obtenida. La propuesta de conservación deberá apostar a una interacción adecuada entre el agua y los materiales constitutivos para asegurar la preservación de este patrimonio e indicar las medidas de mantenimiento que garanticen a futuro el sano comportamiento del edificio que le alberga.

La experiencia del estudio de este caso específico permite comprender de manera cuantitativa el deterioro y así proponer una metodología para el estudio de otros sitios construidos con tierra y desarrollar estrategias para la conservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1982). Tecnología de construcción de tierra sin cocer. En CONSECAL Revista Especializada en Espacios Educativos, p. 1-100.
- Arciniega, A. (2013). Evaluación de tratamientos y materiales aplicados. En Grimaldi D.M. et al. Informe del Proyecto de Conservación e Investigación de la Pintura Mural de la Zona Arqueológica de Cholula, Puebla, temporada de campo 2013, Archivo de la CNCPC-INAH, México
- Bendakir, M. et al. (2011). Une collaboration exemplaire pour la conservation et la mise en valeur du site archéologique de Mari (Syrie). En Rainer, Leslie H., Angelyn Bass Rivera, and David Gandreau, eds. Terra 2008: Proceedings of the 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Bamako, Mali, February 1-5, 2008, Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, p.152. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/terra_2008
- Dehkordi, M. H., et al. (2011). The Archaeological Site of Konar Sandal, Jiroft, Iran: Conservation of Earthen Architecture. En Rainer, Leslie H., Angelyn Bass Rivera, and David Gandreau, eds. Terra

⁷ Mediciones realizadas en los seis muros donde se distribuyen *Los Bebedores*: en resane de intervención anterior, en resane actual y en área donde el soporte original se encuentra expuesto, en 3 repeticiones. Los resultados proporcionan una referencia de comportamiento.

- 2008: Proceedings of the 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage, Bamako, Mali, February 1-5, 2008, Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, p.184. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/terra_2008
- Doat, P. et al. (1990). Construir con tierra tomo II. CRATerre y fondo Rotatorio Editorial, Bogotá.
 - Gendrop, P. (1971). Los murales de Cholula. En Artes de México, vol. 18, no. 144, Año XVIII, México, p. 41.
 - Grimaldi, D. M. (2015). El registro de la forma en el Mural de los Bebedores (Cholula). En CR Conservación y Restauración, No 6, México.
 - Grimaldi, D. M. y C. Castro (2009). Plan de trabajo del proyecto de conservación e investigación de la pintura mural de la Zona Arqueológica de Cholula para la temporada 2009, Archivo de la CNCPC-INAH, México.
 - Guggenheim, S. y Martin R.T. (1995). Clays En Clay Miner. 43, p. 255.
 - Horn, R. et al. (1994). Soil & Tillage Research, 30, 187.
 - Huerta, A. (1990). Informe de la Investigación de Materiales de la Zona Arqueológica de Cholula, Puebla, Dirección de Restauración del Patrimonio Cultural- INAH. México.
 - López, T. y D. M. Grimaldi. (2007). Resumen de los tratamientos realizados en las pinturas murales de la Zona Arqueológica de Cholula, Puebla (1967-1970), Archivo de la CNCPC-INAH, México.
 - Marquina, I. (1971). La Pintura en Cholula. En Artes de México, Cholula Ciudad Sagrada, no. 140, Año XVIII, México, p. 25.
 - Myers, C. y D.M. Grimaldi. (2009). Report on the evaluation of past treatment; collaboration project INAH-GCI, Archivo de la CNCPC-INAH, México.
 - Pérez, N. et al. (2015). Unraveling the Core of The Gran Pirámide From Cholula, Puebla. A Compositional and Microstructural Analysis of the Adobe. En Mater. Res. Soc. Symp. Proc., vol. 1656, © Materials Research Society DOI: 10.1557/opl.2015.3.
 - Wan, Y. y J. Kwong. (2002). Eng. Geol., 65, p. 293.

BIOGRAFÍA

Dulce María Grimaldi Sierra: Restauradora por la ENCRyM, México, con maestría en ciencia aplicada a la conservación por la Universidad de Queen's, Canadá. Actualmente desarrolla proyectos de conservación de acabados arquitectónicos en zonas arqueológicas en México y en Egipto, para el Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Pérez, Nora: Ingeniera química con maestría en ciencia e ingeniería de materiales por la UNAM, México. Actualmente colabora como consultora científica del Seminario-Taller de Restauración de Obra Mural de la ENCRyM-INAH y es responsable del Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

José Ortega Ramírez: Ingeniero geólogo por el Instituto Politécnico Nacional de México y recibió título de maestría (1985) y doctorado (1992) por la Universidad Luis Pasteur de Estrasburgo, Francia. Actualmente es investigador responsable del Laboratorio de Geofísica del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Luis Ángel Villa Alvarado: Ingeniero geofísico por la UNAM, especialista en exploración petrolera y profesor de "Procesamiento de Datos Geofísicos" en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (2008-2010). Actualmente colabora en el Laboratorio de Geofísica del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México.



Conservación sismorresistente: Catedral de Ica e Iglesia de Kuño Tambo

Claudia CANCINO, Daniel TORREALVA DÁVILAY, Erika VICENTE, José GARCÍA BRYCE, Mirna SOTO, Etel CRUZ

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

Durante los años 90's, el GCI creó el *Getty Seismic Adobe Project* (GSAP por sus siglas en Inglés) que desarrolló técnicas sismorresistentes para edificaciones históricas de adobe en California. A pesar que las técnicas del GSAP son efectivas, éstas utilizan materiales y profesionales especializados, lo que hace difícil su implementación en otros contextos. Por ello, el GCI creó el Proyecto de Estabilización Sismorresistente (SRP por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es combinar técnicas y materiales de construcción tradicionales con los de avanzada tecnología (GSAP) para diseñar técnicas de estabilización sismorresistentes para edificaciones históricas de tierra en regiones donde profesionales y materiales especializados son difíciles de obtener.

Como parte de la fase de implementación, el GCI ha desarrollado los proyectos de restauración para dos de las cuatro edificaciones tipo seleccionadas por el SRP: La Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo. Estos proyectos incluyen propuestas estructurales que incorporan técnicas de estabilización diseñadas y estudiadas dentro del SRP.

Esta ponencia se concentra en describir la metodología utilizada para encontrar consenso entre las diferentes partes involucradas (arquitectos, ingenieros, historiadores, etc.) para definir los niveles y detalles de cada intervención propuesta.

1. INTRODUCCION

En el año 2009, el GCI creó el Proyecto de Estabilización Sismorresistente (SRP por sus siglas en inglés) –al cual se unieron luego el Ministerio de Cultura y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Las actividades del SRP se planificaron para ser desarrolladas en cuatro etapas: 1) Factibilidad, selección y estudio constructivo de las edificaciones tipo; 2) Pruebas y ensayos estáticos, así como desarrollo de modelos de elementos finitos para entender el comportamiento sísmico y los modos de falla de las edificaciones tipo; 3) Diseño de técnicas sismorresistentes y validación de las mismas en laboratorio y en los modelos desarrollados; y, 4) Implementación y difusión de los resultados.

Hasta la fecha, el SRP ha difundido los resultados de las primeras dos etapas en una serie de artículos (Ferreira et al, 2013; Ferreira y D'Ayala, 2014; Fonseca y D'Ayala, 2012; Quinn y D'Ayala, 2013; Quinn, N., D'Ayala, D. & Moore, D. 2012; Torrealva y Vicente, 2012 y 2014; entre otros), así como también en la página web del GCI (Cancino y Lardinois, 2013). En estos momentos, el SRP está en pleno proceso de elaboración de los resultados de la tercera etapa y ha empezado a desarrollar la última etapa de implementación.

Como parte de ésta, el GCI ha firmado convenios con el Obispado de Ica y la Dirección Desconcentrada del Cusco (DDC-C), parte del Ministerio de Cultura del Perú, para la elaboración de los Expedientes Técnicos de Obra Pública para La Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo (Figs. 1 y 2).



*Figuras 1 y 2: Izquierda, Iglesia de Kuño Tambo; Derecha, Catedral de Ica.
Fotos: Para el GCI, Wilfredo Carazas, 2010 (izquierda) Scott Warren, 2014 (derecha).*

2. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los edificios de tierra, normalmente clasificados como estructuras de albañilería no reforzada, son vulnerables al colapso repentino durante un evento sísmico; sobre todo si los mismos carecen de mantenimiento permanente y adecuado. Sitios históricos de tierra situados en zonas sísmicas están en alto riesgo de ser dañados e incluso destruidos. Hemos sido testigos de cómo los terremotos de Bam, Irán (2003), Pakistán (2004), Marruecos (2005), Perú (2007) e incluso Chile (2010) han dañado importante patrimonio histórico en tierra a pesar que importantes instituciones han venido estudiando -en las últimas décadas- el comportamiento de las mismas y sugiriendo métodos para su estabilización. Para analizar esta situación y contribuir a la solución de la misma, el GCI organizó un coloquio en el año 2006 cuyas conclusiones catalizaron la creación del proyecto SRP del GCI (Hardy et al., 2009).

Desde el año 2009, el GCI ha venido trabajando con diferentes autoridades, instituciones y partes interesadas en el Perú, para realizar las diferentes etapas del SRP. Como parte de la última etapa, el SRP se ha comprometido en desarrollar los proyectos de restauración (presentados en el Perú como Expedientes Técnicos de Obra Pública) para la Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo, como ejemplos de implementación de las técnicas diseñada y estudiadas dentro del SRP.

2.1. La Catedral de Ica

Ica es la mayor y más importante de las ciudades de la costa peruana entre las ciudades de Arequipa y Lima. Ubicada en una esquina de la plaza principal de la ciudad, su Catedral fue edificada en 1759 por la Compañía de Jesús y transferida a la Orden de los Mercedarios en 1780 tras la expulsión de los jesuitas del Virreinato del Perú en 1767. La catedral, construida con muros gruesos de adobe y bóvedas, cúpulas y pilares de quincha, es actualmente propiedad de la Diócesis de Ica. Fue utilizada como centro de culto hasta que resultó dañada en el terremoto de Pisco en el año 2007. La estructura sufrió entonces el colapso de varias secciones de la bóveda de cañón cerca de la fachada, al colapso parcial de la cúpula central (que luego terminó por colapsar totalmente en el terremoto del año 2010), el colapso total de la cubierta de una de las crujías de la nave del evangelio, y el desprendimiento del revoque de las bases de los pilares y pilastras.

2.2. La Iglesia de Kuño Tambo

La iglesia de Kuño Tambo, es la construcción más prominente de la comunidad campesina del mismo nombre, remoto pueblo de 500 habitantes localizado al sureste de la ciudad de Cuzco, en la provincia de Acomayo. Propiedad de la Arquidiócesis de Cuzco, la iglesia ha sido utilizada de manera continua como lugar de culto desde su construcción en el siglo diecisiete, atendiendo a la modesta comunidad agraria de Kuño Tambo. Construida con muros gruesos y contrafuertes de adobe asentados sobre mampostería de piedra irregular, bajo una armadura de cubierta de madera a dos aguas; esta iglesia, que cubre una superficie de 500 m², presenta muchas de las características de diseño y materiales típicos de las iglesias rurales de la región. La estructura se halla en buenas condiciones, a pesar que los hallazgos preliminares indican que el desempeño estructural de la misma se halla en riesgo debido a filtraciones en la cubierta, a conexiones rotas o inadecuadas en la armadura, pérdida de varios contrafuertes exteriores y asentamiento de los cimientos por erosión en el sitio (Cancino y Lardinois, 2013).

3. PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS

En el año 2013, el SRP empezó el desarrollo de los Expedientes Técnicos de Obra Pública para la conservación y estabilización sismorresistente de la Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo. Estos Expedientes se elaboran en el Perú con el objetivo de plantear proyectos de desarrollo y conseguir financiamiento por parte del tesoro público para llevar adelante la obra. El mismo contiene las siguientes partes:

- A. Introducción
 - B. Antecedentes:
 - a. Aspectos generales
 - b. Propietario
 - c. Ubicación
 - d. Categoría
 - e. Descripción del entorno urbano
 - f. Geología del sitio
 - g. Características medioambientales
 - C. Valores de sitio:
 - a. Introducción a la investigación histórica.
 - b. Descripción arquitectónica del monumento
 - c. Descripción estructural del monumento
 - i. Sectores de estudio
 - ii. Cimientos y sobrecimientos
 - iii. Muros
 - iv. Pilares y pilares adosados.
 - v. Campanarios
 - vi. Pisos y entresijos
 - vii. Cubierta
 - d. Significado del monumento
 - i. Significado histórico.
 - ii. Significado arqueológico
 - iii. Significado arquitectónico y estructural
 - D. Estudio del estado actual:
 - a. Levantamiento del estado actual
 - i. Metodología
 - ii. Patologías
 - iii. Irregularidades, modificaciones, daños y deterioros
 - iv. Hallazgos preliminares
 - v. Diagnóstico estructural
 - E. Propuesta de intervención:
 - a. Planeamiento y alcances
 - b. Especificaciones técnicas de la propuesta de intervención
 - c. Presupuesto de obra
- ANEXOS
- Anexo 1: Investigación Histórica
 - Anexo 2: Informe de prospección arqueológica.
 - Anexo 3: Plano de estado original.
 - Anexo 4: Registro fotográfico.
 - Anexo 5: Fichas de registro de estado actual.
 - Anexo 6: Registro gráfico de condiciones.
 - Anexo 7: Calas de prospección.
 - Anexo 8: Planos de propuesta
 - Anexo 9: Presupuesto de obra

Si bien es cierto este documento permite que proyectistas peruanos puedan desarrollar e implementar un proyecto de conservación financiado por el estado Peruano, éste mismo presenta claras deficiencias sobre todo en la forma en que se plantea la propuesta de intervención (punto E).

Es muy difícil plantear una propuesta si es que no se establece primero una filosofía de intervención. La filosofía de intervención en un proyecto de restauración patrimonial como el de la Catedral de Ica o la Iglesia de Kuño Tambo involucra principios universales de

conservación e ingeniería, los cuales deben estar aprobados por todas las partes involucradas: arquitectos restauradores, historiadores, e ingenieros con especialidad en conservación, entre otros.

La filosofía de intervención empieza por la definición del significado, los valores del sitio y los distintos elementos que definen su autenticidad. Esta misma ayuda a definir el nivel de intervención permitido para cada uno de los elementos del sitio basándose en su importancia cultural y su valor actual; y no únicamente en apreciaciones físicas o estéticas. (Avrami et al., 2000). En el campo de la conservación del patrimonio, este enfoque fue adoptado con el fin de mitigar la brecha que existe entre usuarios y administradores de sitios de patrimonio cultural. Sin embargo, habría que dar primero un paso atrás para definir una filosofía de intervención entre los administradores del patrimonio; los cuales, no son una categoría fácil de definir. Existen diversos principios que rigen diferentes disciplinas involucradas en el diseño de una propuesta de conservación y estabilización sismorresistente.

Es por este motivo que el equipo de trabajo decidió modificar el contenido del punto E de la siguiente manera:

- E. Propuesta de intervención:
 - a. Introducción
 - b. Propuesta de conservación
 - i. Criterios de intervención
 - ii. Los principios de ingeniería
 - c. Intervención:
 - i. Planeamiento y alcances
 - ii. Especificaciones técnicas de la propuesta de intervención
 - iii. Presupuesto de obra

3.1. Los principios de conservación e ingeniería

En la práctica y desarrollo de proyectos para la estabilización sismorresistente de edificaciones históricas, es bastante común que las soluciones propuestas por los ingenieros no concuerden con las planteadas por arquitectos y/o historiadores. Estas propuestas están relacionadas a principios de conservación y criterios de ingeniería que en algunos casos son contradictorios. Es por ello que es fundamental y necesario –antes de entrar a discutir el detalle de cada intervención- llegar a un consenso 1) sobre los principios de ingeniería y conservación que guían la filosofía de intervención, y 2) sobre la importancia relativa de cada principio para cada proyecto de estabilización sismorresistente en el que se está trabajando.

Para ambas edificaciones, el equipo de trabajo consultó la Carta de Burra (1999), los Principios para el análisis, conservación y restauración estructural de patrimonio arquitectónico (2003), y los principios de la *Structural Engineers Association of California (SEAOC)* y determinó los siguientes principios de ingeniería y conservación a considerar durante la toma de decisiones sobre las soluciones propuestas:

Principios de Conservación	Principios de Ingeniería
Mínima Intervención	Seguridad de los ocupantes
Reversibilidad	Durabilidad de la propuesta
Autenticidad	Factibilidad técnica
Preservar el aspecto arquitectónico	Economía
Preservar el material/técnicas originales	
Diferenciar lo nuevo de lo original	
Promover el mantenimiento y monitoreo	

Fig. 3, Tabla 1: Principios de conservación e ingeniería seleccionados por los participantes del proyecto

Con el objetivo de contar con una herramienta que facilite el definir los principios que regirían la restauración y conservación de la Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo, el equipo de trabajo desarrolló una matriz para poder comparar los criterios de conservación con los de ingeniería. En cada recuadro de la matriz se colocó la importancia relativa en porcentaje de cada uno de los criterios (en la parte superior la importancia del criterio en la propuesta estructural y en la parte baja, la propuesta restauradora). Una vez llenados los recuadros dichos porcentajes se sumaron, dando como resultado la priorización de ciertos criterios sobre otros.

CATEDRAL DE ICA	PRINCIPIOS DE INGENIERIA			
	Seguridad (470)	Durabilidad (430)	Factibilidad (410)	Economía (400)
Mínima intervención (150)	70	70	60	50
Reversibilidad (160)	60	60	60	60
Autenticidad (260)	50	30	30	30
Aspecto (260)	50	30	30	30
Material original (130)	70	70	70	60
Técnicas tradicionales (160)	60	60	60	60
Nuevo/original (170)	60	60	50	60
Manten. y monitoreo (200)	50	50	50	50

KUÑO TAMBO	PRINCIPIOS DE INGENIERIA			
	Seguridad (430)	Durabilidad (340)	Factibilidad (240)	Economía (290)
Mínima intervención (220)	60	60	30	30
Reversibilidad (220)	60	50	30	40
Autenticidad (260)	50	30	30	30
Aspecto (260)	50	30	30	30
Material original (280)	30	30	30	30
Técnicas tradicionales (200)	70	50	70	50
Nuevo/original (210)	60	50	30	50
Manten. y monitoreo (250)	50	40	30	30

Fig. 4, Tablas 2 y 3: Pesos relativos de los principios de conservación versus los de ingeniería designados por consenso por parte de todos los miembros del proyecto sismorresistente para la Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo. Nótese que para el proyecto el respeto al principio de autenticidad y aspecto (arquitectónico) son los más importantes para los arquitectos restauradores; mientras que para los ingenieros, la seguridad es el principio que guía la intervención.

3.2. La Catedral de Ica: Reemplazar o no reemplazar

Durante el desarrollo del proyecto de conservación y estabilización estructural de la Catedral de Ica, se presentaron diversas situaciones en las que la propuesta estructural no era compatible con ninguno de los principios de conservación. Una de ellas y la más interesante, fue la decisión de reemplazar la estructura de madera.

Durante los estudios constructivos de la Catedral de Ica, el equipo del SRP hizo un levantamiento detallado no sólo de los espacios arquitectónicos sino también de la estructura interna de la Catedral (Fig. 5). Ésta, desde el punto de vista constructivo, tiene

mucho valor histórico y arquitectónico. Es representante del mestizaje constructivo del virreinato, de la adaptación sismorresistente de construcciones peruanas a través de la historia e incluso es copia de la estructura que actualmente tiene la Catedral de Lima. Conservar internamente sus elementos era muy importante para el proyecto (principio de autenticidad). Sin embargo, análisis realizados por ingenieros especialistas en madera de la Universidad Nacional Agraria de La Molina –contratados por la PUCP- diagnosticaban el estado de conservación de dichos elementos como muy deteriorados; y la propuesta estructural, proponía en un principio, reemplazarlos (principio de seguridad).

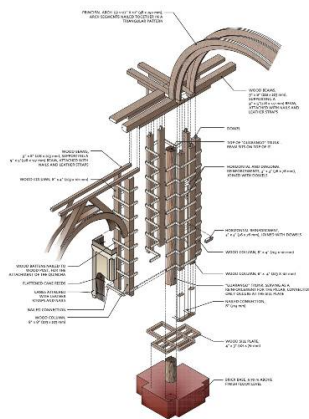
Dado que el principio de autenticidad era prioritario para los arquitectos restauradores, se buscó la asistencia del Arquitecto Mikel Landa (especialista español en reparaciones de madera histórica) para hacer un segundo estudio del estado de los elementos de madera y proponer soluciones alternativas al reemplazo. Sin la ayuda de la matriz, la decisión de qué hacer con los elementos de madera hubiera sido una discusión eterna.

3.3. La Iglesia de Kuño Tambo: Remover o no remover

Una situación similar se presentó durante el desarrollo del proyecto de estabilización sismorresistente de la Iglesia de Kuño Tambo; pero en este caso, los elementos en juego eran los muros de adobe con pinturas murales (Fig. 6). Si bien es cierto las pinturas murales no son elementos estructurales, éstas tienen un valor artístico y arquitectónico bastante alto. De igual manera, la fábrica de los muros, en este caso de adobe, tienen un valor histórico y estructural importante.

Es importante mencionar que los arquitectos restauradores de la región han sido formados siguiendo las intervenciones en pintura mural realizadas después de las inundaciones de Florencia, Italia, en 1966; las cuales consistían principalmente en el desprendimiento de las pinturas murales para ser consolidadas en el taller o en laboratorio (Ferrer Morales, 1998). Esto permitía poder realizar una anástilosis del muro y en el caso de muros de adobe, construir muros nuevos.

Sin embargo y gracias a la matriz desarrollada por el equipo de trabajo, la propuesta para los muros y sus pinturas murales planteó la consolidación in situ; devolviendo al muro su capacidad estructural sin tener que retirar las pinturas murales y sus revoques. Esta propuesta incluyó la capacitación de arquitectos residentes y conservadores de pintura mural para diseñar intervenciones puntuales en los exteriores de los muros sin tener que remover las pinturas murales al interior de la iglesia.



Figuras 5 y 6: Izquierda, Pilar, Catedral de Ica; Derecha, Pinturas murales, Kuño Tambo
Imágenes: Para el GCI, Mirna Soto, 2013 (izquierda) Scott Warren, 2014 (derecha).

4. RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso de elaboración de los proyectos de estabilización sismorresistente de la Catedral de Ica y la Iglesia de Kuño Tambo han tomado cerca de dos años. Resumir en esta ponencia la metodología para la toma de decisiones para el desarrollo de la propuesta estructural es un reto. Sin embargo, es importante mencionar lo siguiente:

- En países como el Perú, las normas existentes para el desarrollo de proyectos no se aplican a edificaciones históricas y mucho menos de tierra.
- Los proyectos de restauración incluyen el desarrollo de una serie de requisitos burocráticos que son extremadamente útiles para conseguir apoyo financiero del estado pero no necesariamente ayudan a tomar decisiones en cuanto a las intervenciones a realizar.
- El estudio del valor y la clasificación de cada elemento de una edificación como parte de un plan de manejo es una excelente herramienta para la toma de decisiones a nivel de la propuesta arquitectónica. Sin embargo su uso es un poco más complicado al discutir y evaluar intervenciones específicas.
- La inclusión de la matriz trata de considerar la edificación y el proyecto en su totalidad. Decidir por un tipo de intervención sobre otra respetando los principios matrices parece ser más efectivo, para estos casos, que el asignar diferentes valores a los diferentes componentes de la edificación.
- La matriz es todavía una herramienta en proceso de desarrollo. A pesar que los porcentajes fueron asignados por los equipos de trabajo después de largas discusiones, sería interesante poder contar con una metodología más objetiva para la asignación de los mismos.

Los sitios de tierra en zonas sísmicas no sólo requieren del estudio de sus modos de falla y el diseño de técnicas para mejorar su comportamiento estructural durante los terremotos. El diseño de proyectos sismorresistentes requiere el análisis de valor de los diferentes componentes edilicios y la clara definición de los principios que guían la filosofía de intervención concertada. Esta última servirá para tomar decisiones fundamentadas que aseguren el mejor comportamiento sísmico de los mismos y la conservación de sus materiales y estructuras originales. Estos dos proyectos esperan ser una primera aproximación a esta necesidad.

REFERENCIAS

- Avrami, Erica C., Randall Mason, y Marta De la Torre. (2000). *Values and Heritage Conservation: Research Report*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/values_heritage_research_report
- Cancino, Claudia, y Sara Lardinois. (2013). *Proyecto de Estabilización Sismorresistente: Estudio de edificaciones tipológicas*. 2 vols. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/assess_prototype
- Ferreira, C. F., D'Ayala, D., Fernandez Cabo, J.L., & Díez, R. (2013) Numerical Modelling of Historic Vaulted Timber Structures. *Advanced Materials Research*, 778, 517-525.
- Ferreira, C. F. & D'Ayala D. (2014). "Structural analysis of timber vaulted structures with masonry walls" In: *Proceedings of the SAHC2014-9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, Mexico City, Mexico 14-17 October 2014, F. Peñan and M. Chavez (eds): Wroclaw, Poland.
- Fonseca, C. & D'Ayala D. (2012). "Numerical modelling and structural analysis of historical ecclesiastical

buildings in Peru for seismic retrofitting” En: Proceedings of the 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 15-17 October 2012, Wroclaw, SAHC: Wroclaw, Poland.

ICOMOS (2003). *Principios para el Análisis, Conservación y Restauración de las Estructuras del Patrimonio Arquitectónico. Ratificada por la 14ª asamblea general del ICOMOS*, en Victoria Falls, Zimbabwe, Octubre de 2003.

ICOMOS (1999). *Carta de Burra. Carta del ICOMOS Australia para Sitios de Significación Cultural*.

Quinn, N., D’Ayala, D. & Moore, D. (2012). Numerical Analysis and Experimental Testing of Quincha under Lateral Loading. Proceedings of the 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 15-17 October 2012, Wroclaw, SAHC: Wroclaw, Poland,

Quinn, N. & D’Ayala D. (2013) "Assessment of the Realistic Stiffness and Capacity of the Connections in Quincha Frames to Develop Numerical Models." *Advanced Materials Research* 778 (2013): 526-533

Torrealva, D. & Vicente, E. (2012). “Numerical modelling and structural analysis of historical ecclesiastical buildings in Peru for seismic retrofitting” En: Proceedings of the 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 15-17 October 2012, Wroclaw, SAHC: Wroclaw, Poland. 2012.

Torrealva, D. & Vicente E. (2014) “Experimental behavior of traditional seismic retrofitting techniques in earthen buildings in Peru” En: Proceedings of the SAHC2014-9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Mexico 14-17 October 2014, F. Peñan and M. Chavez (eds): Wroclaw, Poland.

Ferrer Morales, Ascensión. 1998. *La Pintura Mural: Su Soporte, Conservación, Restauración y Las Técnicas Modernas*. Universidad de Sevilla.

BIOGRAFÍA

Claudia Cancino maneja la Iniciativa de Arquitectura de Tierra del Getty Conservation Institute. Se graduó en Arquitectura y Urbanismo en Lima, Perú y obtuvo un certificado de conservación en el ICCROM en 1995, seguido por la formación en administración de negocios de ESAN en Lima. Entre los años 1996 y 1999, trabajó en conservación y enseñó en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en Lima. Obtuvo una maestría y un certificado avanzado en Ciencias de la Conservación (1999-2002) de la Universidad de Pennsylvania.

Daniel Torrealva ha sido Decano y es Profesor Principal en la Escuela de Ciencias e Ingeniería en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Recibió su maestría de la Universidad de California, Los Ángeles. Actualmente es miembro del Comité científico internacional de patrimonio arquitectónico de tierra (ISCEAH) y de ICOMOS-PERÚ.

Erika Vicente se graduó de Ingeniera en la Facultad de Ciencias e Ingeniería en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y un diploma de postgrado en diseño estructural de la la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Trabajó como conservador residente en el sitio arqueológico de Caral, Perú y hoy es asesora e investigadora la PUCP.

José García Bryce estudió Arquitectura en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) del Perú y en la Universidad de Roma, Italia; Historia del Arte en La Sorbona y en la Universidad de Múnich; y Maestría en Historia del Arte en Harvard. Ha enseñado en las Facultades de Arquitectura de Yale, UNI, Universidad Ricardo Palma, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas y de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Ha diseñado diversos proyectos de restauración, entre ellos la Capilla San José en La Victoria por la que ganó el Hexágono de Oro del Colegio de Arquitectos del Perú.

Mirna Soto es arquitecta graduada con Maestría en Restauración de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) del Perú. Actualmente es docente en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Ha diseñado diversos proyectos de restauración de sitios arqueológicos y edificaciones históricas en tierra en varias ciudades del Perú.

Etel Cruz es arquitecta graduada de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Actualmente es arquitecta titular de la oficina de Gestión de Proyectos de la Dirección Desconcentrada de Cultura-Cusco y ha desarrollado diversos proyectos de restauración de zonas arqueológicas y edificaciones históricas en la región Cusco.



La Gestion du Bien Culturel Tombouctou en période post-conflit.

Ali OULD SIDI

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé :

De nos jours, le bien culturel Tombouctou ressemble à une véritable unité urbanistique et culturelle vivante menacée d'existence dans son âme culturelle et culturelle car depuis avril 2012, elle a été confrontée à une occupation barbare qui se manifeste par la destruction des monuments historiques et par un effacement de la mémoire du passé historique de Tombouctou. L'étude proposée est une réponse du Mali au processus de reconstruction du patrimoine ainsi endommagé. C'est une contribution à l'effort de conservation de l'architecture en Terre qui traite spécifiquement de l'expérience de la Reconstruction du bien culturel Tombouctou devant être comparé aux Reconstructions des biens détruits suite à des conflits : croatie-herzégoville, Egypte, libye, syrie, etc.....

En somme il s'agit de voir concrètement, d'une part, comment est ce que les actions de restauration ou de reconstruction peuvent servir de vecteur d'union et de consolidation de la cohésion sociale, et, d'autre part, voir comment la culture peut elle contribuer au renforcement de la paix et de la culture de la paix entre les communautés ?

La méthode de recherche participative envisagée consistera à recadrer les potentialités ou valeurs culturelles et savoir faire traditionnel et les intégrer aux stratégies de reconstruction locale ciment de dialogue interculturels mais aussi gage d'un développement culturel durable.

Introduction :

Tombouctou, contrée lointaine (5,2008)¹ que l'on atteint après avoir épuisé la carte du monde, jadis cité universitaire sise auprès d'un grand fleuve où arrive l'Azalai chargé de sel et de manuscrits est située entre le 16° latitude Nord et le 5° degré longitude ouest. Mystérieuse cité africaine dont le nom magique a embelli les rêves d'uléma, de poètes, de chercheurs, provoqué d'ardentes vocations. Ville touristique d'essence et par excellence, son pouvoir attractif puissant suscita l'engouement d'illustres voyageurs et explorateurs.

De nos jours, l'histoire nous enseigne que la Medina de Tombouctou classée Patrimoine National et Mondial a connu des fluctuations liées aux oscillations de la conjoncture économique, aux aléas de la vie politique mais aussi et surtout aux vicissitudes de l'histoire

La ville de Tombouctou, devenue respectivement commune de moyen exercice en 1958, et commune de plein exercice en 1962, puis érigée en capitale régionale de la sixième région administrative du Mali, est une des merveilles du monde qui dispose d'un cadre juridique et institutionnel de protection du Patrimoine : Ainsi en 1988, le Comité du patrimoine mondial procédait à l'inscription sur la liste du patrimoine mondial des mosquées de Djingareyber, de Sankoré et de Sidi Yahia, ainsi que de 16 cimetières et mausolées sis pour la plupart à l'intérieur des limites de l'ancienne ville de Tombouctou ;

1. COMPOSANTES DU BIEN CULTUREL TOMBOUCTOU :

En 1989, les trois mosquées compte tenu de leur état de dégradation et des menaces de l'ensablement furent inscrites sur la liste du Patrimoine Mondial en péril. En juillet 2006, suite aux efforts conjugués des autorités maliennes, de la communauté de Tombouctou, des partenaires techniques et financiers du Mali le danger permanent qui pesait sur Tombouctou a été écarté puis le site a été retiré du patrimoine mondial en péril.

Deux (2) ensembles de dispositions (12,2008)² concourent aux respects de ces objectifs :

- au plan international, il s'agit de la « Convention de 1972 concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel » et à laquelle le Mali a adhéré en avril 1977.
- au plan national, il s'agit de la Loi 85-40/ AN-RN du 26 juillet 1985 relative à la protection et à la promotion du patrimoine culturel national et du Décret 92245 portant classement des villes anciennes de Tombouctou et Djenné.

2. GESTION DU BIEN TOMBOUCTOU :

Le Ministère Malien chargé de la Culture a mis en place suivant le Décret 93-203 / P-R.M. en date du 11 juin 1993 la Mission Culturelle de Tombouctou (17, 2008)³ qui est une structure légère dont le rôle fondamental est d'assurer en collaboration avec les structures communautaires (chefs religieux, corporation des maçons) la préservation et la mise en valeur des sites. Bien que leur construction ait été réalisée avec des matériaux fragiles et périssables (terre, pierre calcaire, palmier doum), les trois Mosquées de Tombouctou, jadis foyers de peuplement et noyaux des premiers quartiers universitaires de la cité ont pu résister aux diverses agressions (Intempéries, cycle d'humidification, séchage, action de l'homme) grâce à une conception architecturale adaptée mais aussi à l'effort conjugué des nantis et au savoir et savoir-faire traditionnel des maçons qui ont contribué tant à l'entretien technique que culturel de ces Joyaux.

Au cours de son évolution le bien culturel Tombouctou a connu le parcours historique suivant :

- 1988 ; inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco,
- 1989 : patrimoine mondial en péril,
- 2005 : élaboration plan de gestion,
- 2006 : Vilnius, tombouctou quitte le patrimoine mondial en péril,
- 2007 : construction siège Centre Ahmed Baba,
- 2008 : soumis au Mécanisme de suivi renforcé au Canada,
- 2009 : élaboration outils de gestions tels le règlement d'urbanisme et le plan de gestion et de conservation de la vieille ville : Séville quitte le Mécanisme de Suivi Renforcé,

Sur le plan préservation des sites et cités classés, Tombouctou, la Cité Mystérieuse, a été dotée en 2005 d'un Plan de Revitalisation et de Sauvegarde de la vieille ville et d'un Plan Stratégique d'Assainissement de la ville. Depuis juillet 2006 elle dispose également d'un plan de gestion et de conservation de la vieille ville condition sine qua non de son retrait de la liste du patrimoine mondial en péril. Ceux sont là les récents documents référentiels pour toutes actions de préservation et de valorisation des vestiges culturels de Tombouctou. Cependant, ils méritent d'être relus et actualisés pour se conformer au contexte actuel et au statut de site du patrimoine mondial en péril que vit le site.

- 2012 : Suite à l'occupation du septentrion malien en 2012 ce sont au total Quatorze mausolées sur seize et Deux mosquées sur les Trois qui composent le Bien Culturel Tombouctou qui ont été endommagés ou totalement détruits.

- Face à ce danger, l'Etat-partie du Mali a délibérément choisi à la 36^{ème} session du comité du patrimoine mondial à saint pettesbourg, d'inscrire le Bien Culturel Tombouctou et le tombeau des askia sur la liste du patrimoine mondial en péril. Ces nouveaux statuts souhaités et délibérément consentis par l'Etat-partie du Mali prouvent à suffisance notre engagement à mieux appliquer la Convention de 1972, car il s'agit d'améliorer les conditions de gestion pour un meilleur état de conservation de nos sites dont l'intégrité et l'authenticité se trouvent entachés voire menacés ;

Face à cette situation de péril du patrimoine, l'Etat –partie du Mali a organisé en collaboration avec l'Unesco, la réunion internationale d'experts pour la sauvegarde du patrimoine culturel malien le 18 février 2013. Cette rencontre internationale qui eut lieu au siège de l'Unesco a enregistré plus de 200 participants – gestionnaires des sites culturels au Mali, ministres, experts, représentants des États membres et organisations internationales techniques, a été l'occasion d'échanger des informations sur les dommages causés au patrimoine culturel et a permis d'aboutir à l'adoption d'un Plan d'action⁴ qui présente trois objectifs principaux ainsi qui suit:

- . Réhabiliter le patrimoine culturel endommagé pendant le conflit, avec l'implication active des communautés locales;
- . Mettre en place les mesures pour la sauvegarde durable des manuscrits conservés dans la région;
- . Renforcer des capacités des acteurs en vue de rétablir les conditions appropriées pour la conservation, l'entretien, la gestion et la sauvegarde du patrimoine culturel y compris des manuscrits et du patrimoine immatériel

3. PROCESSUS DE RECONSTRUCTION

3.1. Phase de collecte des données :

Suite à nos entretiens avec la communauté locale sur le terrain, il ressort que les travaux d'entretien des mosquées et des mausolées constituent une vieille tradition ancrée dans le vécu des populations locales. En effet, ces travaux d'entretien des Mosquées et des mausolées ont une double importance, à savoir une importance technique (maintenir le site dans un état de conservation satisfaisant tout en minimisant les risques de dégradation) et une signification culturelle (toute la tradition vivante liée au travail de la Mosquée et du mausolée ,Consolidation de pratiques traditionnelles telle que l'organisation du Dîner chez le Patriarche des Maçons, mise à disposition de tabac et cola, renforcement de liens entre personnes du même groupe d'âge etc (15 -20, 2008)⁵

Dans les deux cas de figure, l'objectif du citoyen contribuant aux travaux est le même, à savoir la Recherche de la Baraka.

Des investigations auprès de cette communauté locale ont permis de savoir qu'à Tombouctou, l'entretien des Mausolées de Saint est fait par la famille responsable du Mausolée, par les populations riveraines du Mausolée ou parfois financés par de bailleurs de fonds ayant des liens avec la famille du Saint et voulant rester dans l'anonymat. Le processus de l'entretien du Mausolée se fait en plusieurs étapes ainsi qui suit :

- La famille responsable du Mausolée collecte les matériaux de construction à la veille de l'hivernage,
- La communauté du quartier proche du Mausolée organise une quête,
- Les maçons et descendants du Saint (mausolée) décident du jour d'entretien, (jour férié)
- Les femmes du quartier préparent crème donnée sous forme d'aumône à distribuer aux enfants,

L'entretien du mausolée est aussi accompagné d'une série d'aspects intangibles contribuant au renforcement du tissu social, et qui doivent être prise en compte dans le processus de Reconstruction. Parmi ceux-ci la communauté locale de Tombouctou en a retenu :

- Mise à disposition de sept variétés de céréales et quelques graines de coton pour les maçons avant les travaux, crème, tabac, déjeuner commun pour la corporation des maçons le jour de l'entretien du mausolée,

- Immolation d'un animal (mouton ou bœuf), lecture du coran, crème préparée par les femmes du quartier proches du Mausolée et qui est distribuée en aumône uniquement aux enfants

3.2. Des fouilles archéologiques :

Organisées en amont du processus de reconstruction, les fouilles archéologiques ont pour objectifs de :

- faire comprendre les structures des mausolées,
- d'aider à identifier les matériaux utilisés dans la construction de ces édifices,
- et d'analyser et expliquer les techniques de construction.

Ces fouilles ont aussi permis de relever l'attachement viscéral des populations locales à leur patrimoine qui se traduit par :

- La préoccupation constante des populations locales pour la réutilisation des reliquats issus de la destruction des mausolées pour une question de BARAKA,
- Un fort attachement des maçons aux fondements traditionnels des rites et traditions accompagnant les travaux d'entretien des mosquées et des mausolées ;
- une forte concentration des enterrements autour de mausolées pour protection et Baraka du saint
- Les nombreuses découvertes (d'ossement, d'objets funéraires, de verres, de céréales) faites dans les fouilles organisées au sein des mausolées de Sidi mahmoud, Sidi Ahmed ben Amar et a Aboulq qassim attawaty prouvent à suffisance la nécessité d'étendre ce genre de mission aux autres mausolées pour mieux comprendre leur évolution et envisager une Stratégie de RECONSTRUCTION.
- Envisager une étude approfondie au labo des éléments de la stratigraphie pour une meilleure connaissance des matériaux et leur comportement à travers les âges
- Procéder à un triage des matériaux locaux réutilisables,
- Veiller à l'intégration des systèmes traditionnels de transmission des savoirs locaux, à la protection et à la valorisation de l'environnement socioculturel.
- Revaloriser les mosquées et mausolées suivant une approche de développement durable, permettant aux maçons locaux de maintenir la main, et perpétuer les interventions sur l'architecture en Terre.

3.3. Publication de livres sur les saints :

Cet exercice a consisté à collecter les cartes croquis, dessins et autres documents graphiques sur les mausolées des saints de Tombouctou (34, 2014)⁶

4. CHOIX DE LA STRATEGIE DE RECONSTRUCTION :

Les avis des experts divergent et se résument comme suit :

- certains responsables de mausolées sont pour une reconstruction rapide des structures sur les restes des murs démolis avec les mêmes matériaux,
- d'autres pensent à une structure plus solide avec des matériaux plus durables.
- Parmi les experts, il est d'avis pour certains de reconstruire à l'identique à partir de l'état d'avant les démolitions (avec revêtement des murs en pierres d'alhore jointoyées avec du mortier de ciment)
- Pour d'autres il s'agit d'aller plus loin dans le passé afin de retrouver la structure des murs avant les toutes dernières interventions qui datent de 2005-2006.

- Certains Experts insistent sur le rôle et la place des valeurs culturelles et savoir faire traditionnel au sein des stratégies de reconstruction locale ciment de dialogue interculturel mais aussi gage d'un développement culturel durable;

La réussite d'une reconstruction à l'identique s'articule autour des composantes suivantes:

- Selon la convention de 1972 de l'UNESCO, il est recommandé de reconstruire à l'identique tout monument classé patrimoine mondial.
- Les familles responsables et celles de maçons responsables sont les principaux dépositaires d'informations crédibles et de savoir-faire pour toute reconstruction à l'identique de ces mausolées.
- Les documentations écrites, graphiques, photographiques ; les traces externes et les restes découverts à travers des fouilles archéologiques sont souvent des sources d'informations précieuses.

5. PERSPECTIVES :

De nos jours quel pourra être le bilan⁷ de ce plan d'action élaboré et mis en œuvre avec l'Unesco ? et quel son niveau d'application ? quels sont résultats obtenus ?

En effet, suite à la réunion du comité de suivi du programme de réhabilitation du patrimoine culturel et de sauvegarde des manuscrits anciens du Mali tenue le mardi 12 mai 2015 à BAMAKO, l'état d'avancement du dit plan se présente comme suit :

- Au niveau de la Composante « Etudier et connaître », L'étude historique sur les mausolées a continué à être enrichie par de nouvelles informations et des missions d'évaluation de l'état architectural des bâtiments des musées de Tombouctou (Musée municipal, Musée Al Mansour Korey) sont prévues en juin 2015.
- Au titre de la Composante « Restaurer et reconstruire » le chantier de reconstruction des mausolées a pu redémarrer en fin février 2015 alors que le 24 février 2015 marque le lancement de la deuxième phase des travaux par Madame le ministre de la Culture de l'Artisanat et du Tourisme à Tombouctou, en présence des partenaires techniques et financiers.
- A ce jour, les quatorze mausolées détruits en 2012 ont été reconstruits

Conclusions :

Il est important de rappeler que les travaux de reconstruction du patrimoine ont été conduits conformément aux Orientations devant aboutir à la mise en œuvre de la Convention de 1972 et sont supervisés au niveau national par le bureau Audex et au niveau international par Craterre ; Ces travaux sont exécutés suivant un cahier de prescriptions techniques détaillées sur les matériaux, les formes et évolutions historiques de chacun des mausolées.

Dans le souci de disposer d'une base de données importante et complète, ces travaux sont accompagnés et complétés par une documentation sur les différentes étapes de reconstruction de chaque mausolée ⁽⁸⁾ ; le tout respectant les normes édictées par la Convention de 1972 de l'Unesco.

En ces moments pathétiques de reconstruction d'un pan important de notre patrimoine universel les observations suivantes peuvent être formulées :

- rendre un hommage mérité aux communautés locales de Tombouctou détenteurs de ce patrimoine mais aussi de réaffirmer la réponse du Mali face au processus de reconstruction de son patrimoine endommagé.
- renforcer ces interventions pour une meilleure prise en charge du patrimoine par les communautés et les Collectivités Territoriales,
- réaliser concomitamment le binôme Reconstruction du Patrimoine et Réconciliation des communautés à travers des travaux d'intérêt communautaire tels les travaux d'entretien des mosquées et des mausolées qui mobilisent toute la communauté avec respect aux rites et sacrifices qui accompagnent ces travaux ;
- Faire en sorte que les actions de restauration ou de reconstruction puissent servir de vecteur d'union et de consolidation de la cohésion sociale au sein des communautés locales.
- Instaurer un cadre de dialogue et de concertation pour une meilleure appréhension de la notion de PATRIMOINE et une adhésion totale des populations et autres usagers à la protection et à la reconstruction de leur Patrimoine
- La stratégie de reconstruction adoptée a intégré le rôle et la place des valeurs culturelles, des savoir faire traditionnel et des techniques de reconstruction locale ciment de dialogue interculturel mais aussi gage d'un développement culturel durable ;
- La stratégie de reconstruction doit lancer les pistes de réflexion autour de la gestion des risques en période post- conflit puis envisager un plan de gestion des risques pour prévenir d'éventuels risques de destruction des biens du patrimoine mondial.

Notes

1, 2, 3 : ould sidi ali

4 : plan d'action unesco : patrimoines endommagés des régions du nord du Mali

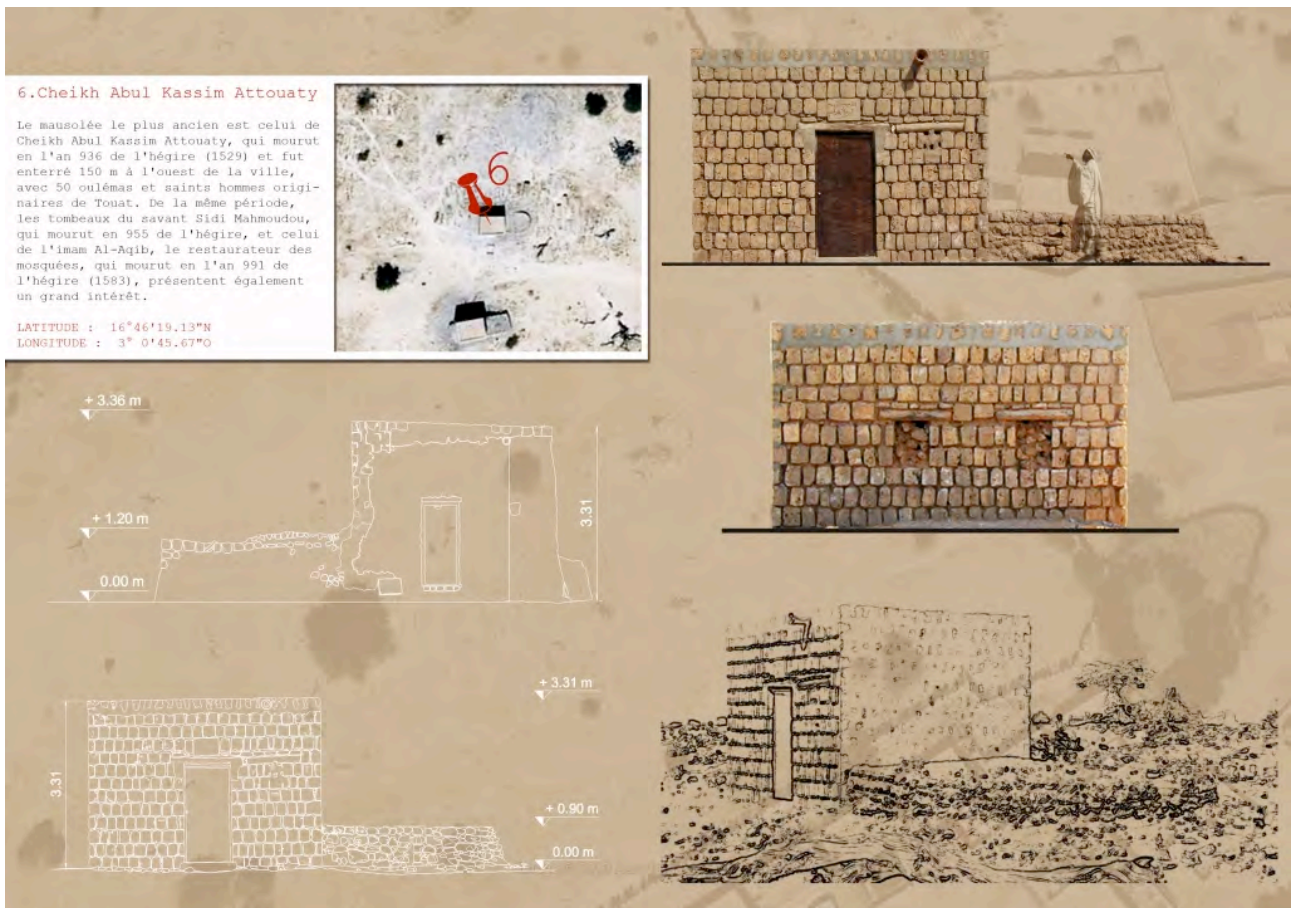
5 : ould sidi ali

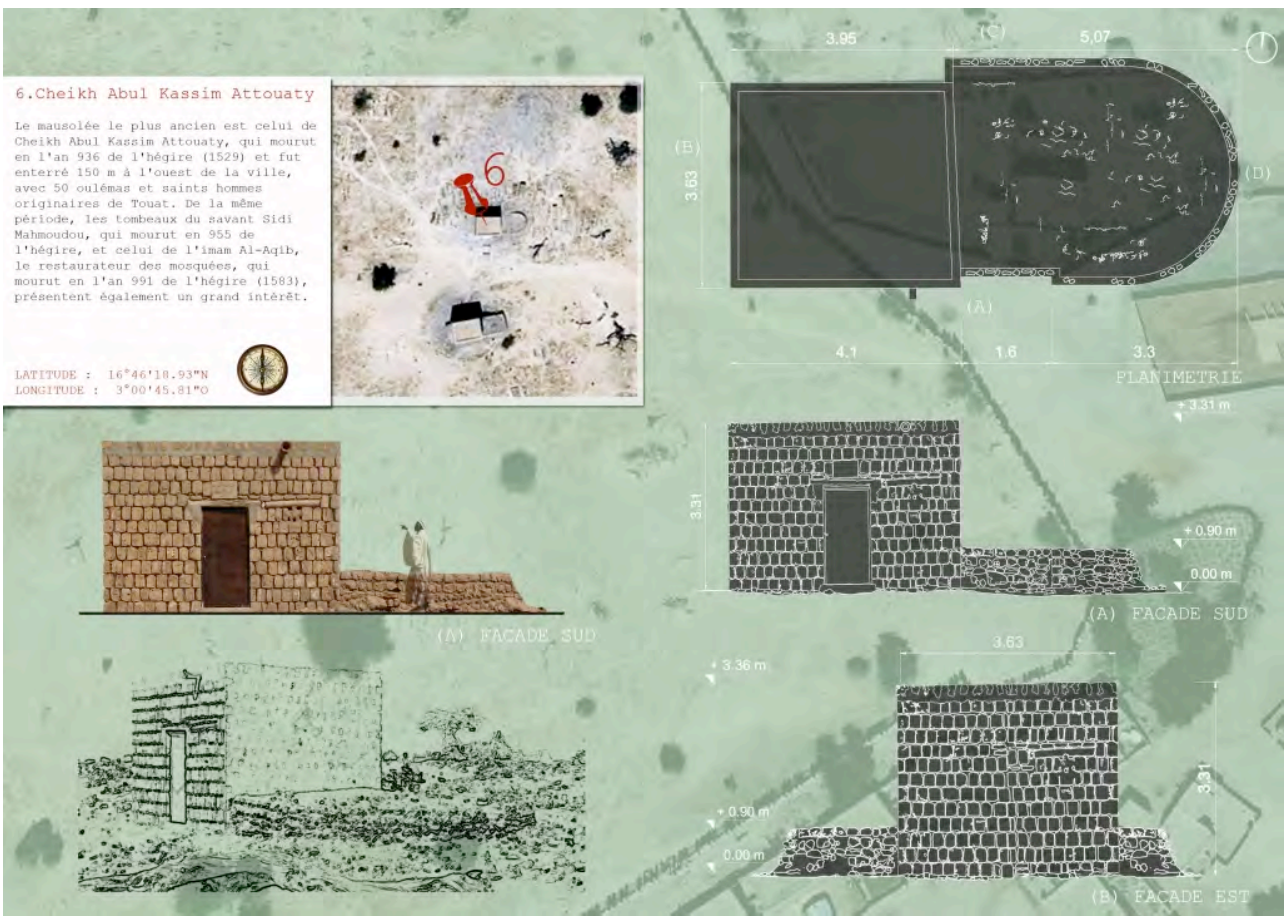
6 : Pietro

7 : magazine unesco

8 : figures d'illustration.

ILLUSTRATIONS







BIBLIOGRAPHIE

Bertagnin Mauro et Ali Ould Sidi Ali Manuel pour la conservation de Tombouctou, centre du patrimoine mondial, unesco, paris 2014

Ould sidi Ali, le patrimoine culturel de tombouctou : enjeux et perspectives, imprim color, 2008, bamako

Pietro M.Apollonj Ghetti, Etude sur les mausolées de Tombouctou, Centre du patrimoine mondial unesco, paris 2014

La sauvegarde des Biens du patrimoine mondial, un enjeu majeur pour le Mali, Centre du patrimoine mondial, unesco, juin 2014

La sauvegarde des Biens du patrimoine mondial, un enjeu majeur pour le Mali, Centre du patrimoine mondial, unesco, juin 2015



**Arquitectura prehispánica de tierra y evento El Niño (Enso):
Conservación preventiva en la Costa Norte del Perú.**

Ricardo MORALES GAMARRA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

El documento presenta dos experiencias sobre conservación preventiva ambiental y monumental, la primera en Huaca de la Luna, valle Moche, con ocasión de El Niño 1997-1998; y la segunda, como un programa gubernamental de prevención en la costa norte y central del Perú, debido al pronóstico del actual evento El Niño (2014 – 2016).

En el primer caso se exponen los lineamientos teóricos, metodológicos y estratégicos básicos, la propuesta de un plan de contingencia y la evaluación-monitoreo de los resultados obtenidos en un monumento específico. Las cubiertas provisionales, cortavientos y drenes funcionaron satisfactoriamente y sirvieron de modelo para la protección de otros sitios arqueológicos norcosteños. En el segundo caso, en actual desarrollo, evaluación y monitoreo (2014-2016), se planificó e implementó un inédito programa de prevención macro regional, como política del Ministerio de Cultura, tomando en cuenta las experiencias de El Niño de 1982-83 y 1997-98. El área de impacto comprende las regiones Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima e Ica, un territorio costero de 1,962 kilómetros lineales de norte a sur.

1. Territorio, desarrollo humano y eventos ENSO: periodo prehispánico

La costa norte tiene un paisaje singular, alternándose ubérrimos valles y desolados desiertos. Cinco mil años antes de nuestra era, las sociedades ocuparon y transformaron estos paisajes con una ingeniosa y amplia red de acueductos de tierra. En arquitectura, el formato de este material evolucionó desde las amorfas shicras⁽¹⁾ de Caral hasta los adobes paralelepípedos, tapiales y quinchasen Chan Chan. La capacidad de manejo de un complicado paisaje, la destreza y el orden geométrico (unidad de medida, patrones de proporción y módulos), favoreció la construcción de centros ceremoniales, urbano-ceremoniales de intensas policromías, como Sechín (1000 a C) y Moche (100 d C). Así como extensas y notables ciudades, tal el caso de Chan Chan (950 d C).

Estos frágiles contextos arquitectónicos evidencian su coexistencia y capacidad de recuperación ante los recurrentes eventos naturales, ENSO y sismos. Las investigaciones arqueológicas han identificado varios procesos meteorológicos anómalos, como los gruesos sedimentos superpuestos en las estructuras y espacios. Mogrovejo y Makowski (1999: 51), citando a Quinn, Neal y Antúnez de Mayolo, definen cuatro niveles de impacto ENSO: débil, moderado, fuerte, muy fuerte. A ellos se suma, según Morner, citado por los referidos investigadores, un quinto nivel, los “superniños” o “meganiños”, que se manifiestan como lluvias tropicales, desbordes fluviales e inundaciones (Fig. 01).



Figura 01: Destrucción de huaca Taco por río Reque, v. Reque. ENSO 1997-1998

(1) Shicras, bloques irregulares de tierra mezclada con grava, contenidas en bolsas fabricadas como una red de junco.

2. Arquitectura y policromías: carácter y tecnología

La arquitectura religiosa andina y Moche en particular, es producto del diseño previo de un complejo programa arquitectónico e iconográfico, maquetas de diferentes materiales, para organizar los volúmenes y espacios en función a la ideología, liturgia y práctica ritual. Una escenografía en donde la geometría del arte mural se inserta con precisión, en la geometría de un espacio ceremonial, de acuerdo a los patrones ideológicos de la élite gobernante, al manejo de una unidad de medida y a conceptos de modulación (Morales, 2012:20).

Huaca de la Luna fue construida en dos etapas. El viejo templo orientado hacia el norte, es una plataforma sólida en dos niveles, producto de seis edificios superpuestos durante seis siglos, tiene 264 m en su eje norte-sur, 120 m de este-oeste y 28 m de altura. El nuevo templo es de menor volumen, 75 m sur-norte, 62 m este-oeste y 15 m de altura, resultado de dos edificios superpuestos construidos en los últimos 200 años de esta ocupación.

Los templos se construyeron en base a unidades modulares adosadas entre si (2 x 3 x 3 m de alto), hasta rellenar los espacios del viejo templo y configurar una nueva plataforma, y construir el nuevo templo con el mismo patrón arquitectónico de los precedentes. Los adobes paralelepípedos se asentaron en hiladas alternas de cabeza y de soga. Estos bloques son de diversos formatos y medidas (0.96 x 0.60 x 0.21 cm / 0.30 x 0.20 x 0.12 cm / 0.45 x 0.20 x 0.12 cm), de acuerdo a su función en el sistema constructivo (Fig. 02).

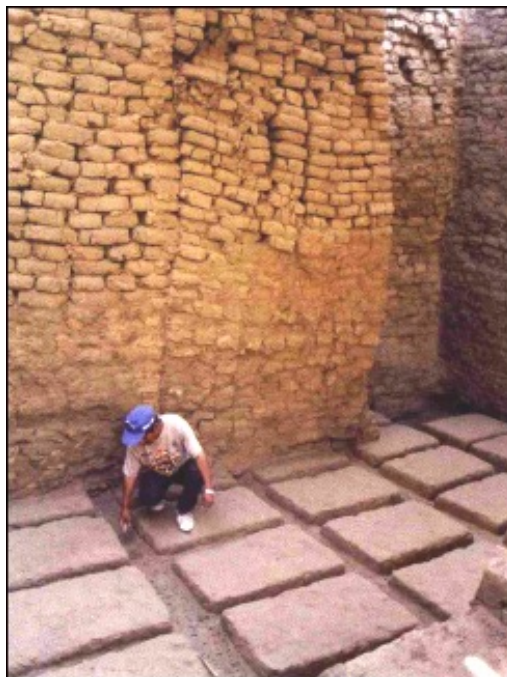


Figura 02: Sistema de construcción y tipología de adobes. Huaca de la Luna.

Entre estas dos estructuras se calcula la pervivencia de doce mil metros cuadrados de superficies, entre pinturas planas y alto relieves de complejas iconografías policromadas, ejecutadas exclusivamente en los espacios ceremoniales. Estas iconografías son códigos, escenas narraciones asociadas a la función litúrgica del espacio ceremonial. No fueron decoraciones. Los ambientes de servicio o de conexión se pintaron de blanco (Morales, 2012: 28).

La técnica pictórica es un temple a la cola celulósica, pigmentos inorgánicos mezclados con mucílago de cactus y aplicados a las superficies de tierra, secas, con pinceles y

broqueles de pelo de camélido. Actualmente se expone a la visita, 1947 m² relieves policromados, 437 m² pinturas murales y 1173 m² enlucidos monocromos, todos consolidados y protegidos bajo cubiertas. (Fig. 03).



Figura 03: Huaca de la Luna, fachada principal del templo Moche.

3. Materiales de construcción: adobes

Entre otros temas de investigación, la caracterización del adobe, morteros de asiento, enlucidos y relieves, y del suelo, es la primera fase de la investigación de un sistema constructivo, para definir las composiciones mineralógicas. Igualmente, se identifican materia orgánica, carbono, sulfato, cloruro y nitratos.

En huaca de la Luna se identifican tres tipos de adobe por su crominancia: marrón, gris y amarillo. El análisis granulométrico por tamizado comprobó que la textura de los adobes tienen una gradación franca arenosa, dentro de un rango de porcentajes, el AAM (adobe arqueológico marrón) tiene 34.85 % de arcilla-limo y 65.15% de arena, es decir, se ubica entre 12.85 - 34.85 % para arcilla-limo y 65.15 - 87.15 % para arena. La muestra que no cumple con esta norma es el AAG (adobe arqueológico gris), por presentar una textura arena franca (84.24% arena y 15.76% arcilla-limo). El AAA (adobe arqueológico amarillo) es de similar composición. El adobe AAG presenta el mayor daño a los comportamientos mecánicos y físicos, por tener una mayor adición de arena que genera micro porosidades y acrecienta la absorción de agua y su aparente porosidad, mientras que los adobes AAM, tienen una mejor resistencia por el rango de porcentajes arcilla-limo ya expuesto.

El análisis de granulometría en el frontis norte, que es la fachada principal del templo (Fig. 03), determinó que para la fabricación de adobes, morteros de asiento, enlucidos, pisos y relieves, se usó una misma cantera de tierra de cultivo, con algunos cambios en las proporciones de la mezcla. Este es un dato inédito y pionero en el reconocimiento de los materiales y técnicas constructivas y su resistencia físico-mecánica. Un nuevo factor para la datación del proceso constructivo de un templo.

Por otro lado, el análisis de difracción de rayos X ha permitido determinar las estructuras cristalinas, composición química y simetría en la composición de las muestras terrosas, pues, la imperfección cristalina natural de los materiales muestran diversos patrones representadas en forma de bandas o líneas, que dan información precisa de los defectos estructurales. En los resultados se observa que los suelos presentaron fases como el cuarzo, que disminuye la contracción en el adobe marrón; así mismo la albita e illita que son minerales arcillosos más representativos, para mejorar la plasticidad de la mezcla en los adobes arqueológicos amarillo y marrón (op cit, 63 y 64).

Contrastando los resultados de la difracción de rayos X y granulometría, entre otros análisis, se observa que los adobes arqueológicos AAM (de color marrón) presentan la fase cuarzo que reduce la contracción y la albita e illita que mejoran la plasticidad, definiendo una granulometría que ofrece una mejor resistencia por el rango de porcentajes arcilla-limo (12.85 - 34.85 %) y arena (65.15 - 87.15%), caracteres que lo definen como el bloque mejor conformado (Op cit, 76), y en el cual el éster de sílice tiene mejores resultados.

4. Historiografía contemporánea de eventos ENSO: 1925 /1983 / 1998 / 2015

Estos eventos han tenido diferentes comportamientos e impactos, en función a la latitud de los valles. De norte a sur, las regiones Tumbes, Piura y Lambayeque expresan un mayor volumen pluvial y fluvial. La Libertad y Ancash registran una menor magnitud e impacto físico. En los sitios prehispánicos los daños son irreversibles, si no cuentan con protecciones ambientales básicas, como cubiertas, drenes y cortavientos, protección y defensa de riberas fluviales (Morales, 2013: 99).

En estas circunstancias, se registran dos momentos diferentes en la respuesta, en 1982-83 no se pronosticó el evento y la tardía protección no contó con la debida planificación y financiamiento, las intensas lluvias y desbordes fluviales destruyeron los contextos arqueológicos. En 1997-98 fue diferente, el oportuno pronóstico oficial motivó la gestión y acción personal de los responsables de cada sitio, mitigando el impacto en las áreas críticas y de exposición turística.

5. Preservación y conservación preventiva: dos momentos, dos lecciones.

5.1 Huaca de la Luna, valle Moche

Es el edificio prehispánico norcosteño que resume los inicios, avances y resultados de una política y planificación articulada para la protección ambiental de un monumento prehispánico de tierra en el Perú (Morales 2014: 55-63). A principios de 1997 se pronosticó un ENSO de magnitud extraordinaria y el Proyecto diseñó sobre la experiencia de 1982-83, un plan de emergencia que rindió excelentes resultados y que es la pauta para este nuevo episodio pluvial y fluvial (Morales, 2014: 70, 71), (2013: 99), (2011: 205-211). Se definió una política de prevención que ha mejorado progresivamente en los últimos veinte años. Las propuestas consensuadas definieron un orden de acciones:

a. Elaborar un mapa de vulnerabilidad preliminar y de drenaje integral, en base al registro topográfico, antecedentes, patología y criterio de "cuencas y sub cuencas", para encausar las escorrentías pluviales por canales dispuestos al borde del cerro y de las estructuras, dirigiéndolas hacia sectores no monumentales o estériles.

b. El drenaje se diseñó como una red subterránea de tubos PVC de 4" o 6" y cajas de sedimentación ubicadas en las cotas apropiadas. Así mismo, se colocó material de sacrificio (tierra estabilizada a la cal y renovable), para proteger los suelos arqueológicos y los de circulación turística, con planos inclinados de 1 a 2% a fin de desagua rlentamente hacia las cajas de la red subterránea. Esta protección se complementa con las canaletas acopladas a los techos, para direccionarlas aguas que estas superficies reciben. Los tubos PVC expuestos se recubren con cañas bambú para mimetizar su presencia (Fig. 04).



Figura 04: Narihualá, v. Piura. Protección ambiental con cubiertas y drenes

c. Elaborar un protocolo de registro, documentación, monitoreo y mantenimiento inmediato del contexto y de las cubiertas, drenes y cortavientos. Incluye la capacitación del personal técnico y auxiliar.

d. Evaluar las técnicas y comportamiento de los materiales de consolidación aplicados en los últimos 40 años de intervenciones en huaca de la Luna y otros sitios arqueológicos de tierra. El silicato de etilo 40 y alcohol etílico es la solución que ha logrado óptimos resultados, ante el impacto hídrico y eólico directos. La primera aplicación la hice en febrero de 1980 y a la fecha no hay alteración (Fig. 05)



Figura 05: Relieves consolidados (Silicato de Etilo 40) humectados por lluvias y en proceso de secado, sin alteración .

e. Suspender las excavaciones arqueológicas antes y durante el evento, enterrando las áreas excavadas y expuestas del sector urbano, con el material excavado (área de 4,500 m²).

f. Evaluar los resultados de pruebas de consolidación con diversos productos, solventes y porcentajes, en un muro test o de pruebas construido en 1994, con adobes y fragmentos originales de relieves policromados.

g. Evaluar y mejorar las cubiertas y cortavientos provisionales, implementar la red de drenaje subterráneo, superficial y suspendido, de acuerdo a los planos de planta y elevaciones. Los resultados fueron óptimos, no se registró ningún daño estructural.

h. Elaborar el plano final de amenazas y vulnerabilidad del complejo arqueológico.

5.2 Programa Macro Regional de Prevención ENSO 2014-2016/ Ministerio de Cultura

Es la primera experiencia en la historia del patrimonio arqueológico de tierra, que el sector Cultura implementa como política de Estado en el Perú, una acción orgánica de este frágil patrimonio cultural, más aún cuando otros sectores como Salud, Vivienda, Transporte y Educación tienen la prioridad gubernamental. La prospección y planificación del Programa de Prevención ENSO y gestión del financiamiento, se realizó de marzo 2014- julio 2015. En la primera fase se protegieron 63 sitios en un área territorial de 116,231.55 km² (octubre 2014-marzo 2015) con una inversión de USA \$. 7'200,000.00 En la segunda fase se intervinieron 40 sitios añadiéndose un área de 58,478.24 km² que corresponde a las regiones de Lima e Ica (noviembre 2015-enero 2016), con una inversión USA \$. 2'400,000.00.

El Programa de Prevención ENSO 2014-2016 fue un avance sustancial pese al corto tiempo útil para su planificación y la escasez de profesionales con experiencia en este tipo de intervención. En este punto, “la conservación efectiva demanda una colaboración completa con aquellos de otros campos; trabajar exclusivamente dentro de un marco de trabajo para el patrimonio cultural en riesgo demanda una colaboración plena y abierta con los funcionarios de respuesta ante emergencias” (Stovel, 2003: 14).

Para el efecto se conformó una Comisión Sectorial integrada por los directores regionales de cultura del área de impacto y una Comisión Técnica ENSO integrada por arqueólogos, conservadores, ingenieros, arquitectos e historiadores. El autor de esta ponencia fue presidente de ambas comisiones, con experiencia profesional y práctica durante los “meganiños” de 1982-83 en Chan Chan y 1997-98 en huaca de la Luna. La intervención se orientó a:

a. Revisar y sistematizar los informes técnicos y notas periodísticas de los mencionados eventos ENSO, con especial énfasis en definir los tipos y magnitudes de impacto (pluvial y/o fluvial), soluciones, resultados, dificultades, conclusiones y recomendaciones.

b. Convocar a profesionales especialistas o con experiencia en manejo de riesgos y catástrofes.

c. Registro topográfico de los sitios y entorno con estación total; así como reconocimientos satelitales y fotográficos aéreos con drones, desarrollando ortofotografías panorámicas y al detalle. A ello se suma el levantamiento con escáner láser 3-D Leyka Station II.

d. Los expedientes técnicos, de complicados trámites burocráticos, fueron reemplazados por fichas técnicas de formato apaisado, que resumen la información básica: ubicación geográfica en foto satelital Google, mapas y planos, fotografías panorámicas y detalles, identificación de los valores y patología del sitio; así como, la propuesta metodológica, técnica, económica y un plan de monitoreo y mantenimiento básico.

e. La propuesta se organizó en tres etapas, una acción preventiva y previa al ENSO, otra durante el desarrollo de éste y una tercera como monitoreo durante y después del evento. En esta última se desarrolla un proceso de investigación y conformación de una base de datos que se manejará en futuros eventos.

f. Refuerzos estructurales preliminares: apuntalamiento preventivo de estructuras en desplome, calzadura de faltantes en muros, replanteo de pendientes de pisos para evitar aniegos adyacentes a muros, recubrimiento de enlucidos, pinturas y relieves con material inerte y removible.

g. Construcción de cubiertas, drenes y cortavientos. En este proceso preventivo se han instalado 55,873.58 m² de cubiertas o techos provisionales; 4,244.18 m³ de encausamiento o manejo de cárcavas; recubrimiento de horadaciones y pozos de huaqueo; 2,528 m³ de reforzamiento estructural; 6,036 ml de canaletas o drenajes suspendidos de la cubierta; 2,745 ml de drenes subterráneos con tubos de PVC y 720 m² de cortavientos. (Figs. 06).



Figura 06: Huaca de la Luna, v. Moche. Cubiertas y drenes, protección de espacios y murales.

h. Pioneros estudios de hidrología e hidráulica en el entorno de Cabeza de Vaca (v. Tumbes), Farfán (v. Jequetepeque), Mocollope (v. Chicama), Galindo (v. Moche), Huancaco (v. Virú) y Sechín (v. Casma). (Fig. 07).

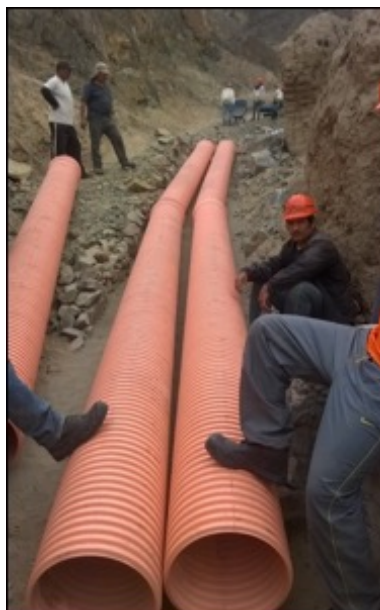


Figura 07: Huancaco, v. Virú. Reforzamiento de quebradas y cárcavas con gaviones y drenajes subterráneos (tubos PVC).

- i. Mantenimiento de los drenes en Chan Chan y control del nivel freático (v. Moche).
- j. Manejo o encauzamiento de quebradas y cárcavas en sitios ubicados sobre laderas de cerros (Fig. 08).



Figura 08: Narihulá, v. Piura. Cárcavas causadas por lluvias intensas que afectan estructuras de tierra.

k. Monitoreo sistemático durante y post impacto de todos los monumentos intervenidos, por ser el eje de la política de investigación para la conservación que se desarrollará y para evaluar el intenso proceso de evapotranspiración y eflorescencia salina post ENSO.

l. Instalar y evaluar una innovadora protección con cubiertas y pisos arqueológicos en sectores de uso turístico. Tschudi, en Chan Chan, experimenta una propuesta piloto: levantamiento topográfico para definir las pendientes de las superficies; colocación de material de sacrificio (tierra estabilizada a la cal), con pendientes de 1% del muro al centro del corredor y planos inclinados a lo largo de éste, de un extremo alto a las cajas de sedimentación o percoladores; instalación del sistema de pavimento drenante: geotextil, geomembrana y celdas drenantes, mallas plásticas de polipropileno reciclado, 5 cm de alto, las celdas se rellenan con gravilla para generar un tránsito turístico confortable y el acarreo de materiales, mientras el agua pluvial escurre entre la geomembrana y la malla, evitándose charcos, lodazales, pérdida de material y mejorando la presentación del monumento (Figs. 09 y 10).



Figura 09: Tschudi, Chan Chan, v. Moche. Protección de pisos en área de visita, con pavimento drenante (geoblocks) y gravilla.



Figura 10: Tschudi, Chan Chan. Construcción de 4,000 m² de cubiertas en sector Audiencias.

6. Conclusiones

6.1 En huaca de la Luna se desarrolla un programa de investigación científica y tecnológica para la conservación de contextos arqueológicos de tierra, integrando estudios de sismo-resistencia estructural, relevamiento con escáner láserescáner láser 3-D (Leyka Station II), monitoreo integral e interdisciplinario y protección ambiental, así como trabajos de conservación en su mínima intervención.

6.2 La consolidación de superficies arquitectónicas de tierra con éster de sílice presenta resultados óptimos, desde la primera aplicación en huaca de la Luna (1980). Igualmente, la fijación de la policromía con Paraloid B-72 evidencia una buena resistencia físico-mecánica a la lluvia directa, escorrentía, insolación e impacto eólico abrasivo.

6.3 Chan Chan es un extraordinario laboratorio de experiencias acumuladas desde 1964 a la fecha, sin embargo, estas no se aprovechan por la falta de un programa de investigación integral e interdisciplinario, que evalúe, discuta y sistematice los resultados.

6.4 La recurrencia de eventos ENSO y la gravedad de sus impactos, han generado unaacertada política de Estado para planificar y ejecutar programas de prevención ambiental y conservación del patrimonio arqueológico edificado, integrados a los planes nacionales de prevención y manejo de desastres naturales.

6.5 El estudio hidrológico e hidráulico en las quebradas de los cerros y sub cuencas,es determinante para la conservación preventiva de las estructuras construidas en las laderas, base o áreas próximas a un cerro. Este estudio debe integrarse a un programa de manejo decuencas y subcuencas, para desaguar hacia áreas no monumentales. Nuestro criterio propone desde 1994, que ***el manejo de una cuenca y/o la preservación del entorno de un monumento arqueológico, es un pre requisito para su preservación y posterior conservación.***

6.6 La protección ambiental de un monumento ante un evento ENSO, requiere una planificación intersectorial, interinstitucional e interdisciplinaria, tomando como referencia antiguos proyectos, estadísticas meteorológicas y fluviales por valles, reportes y publicaciones técnicas, así como un amplio registro fotográfico y etnográfico. Sobre esta base, las propuestas van desde una cubierta provisional con material vernácula y la protección de pisos, hasta el recubrimiento total del edificio.

6.7 La organización del Archivo Central del Programa de Prevención ENSO 2014-2016, en la sede central del Ministerio de Cultura, Lima, es la base de consulta para la planificación de futuros eventos. Es un acervo documental completo y ordenado, en físico y en digital, con informes técnicos parciales y finales de cada sitio intervenido, reportes de los estudios hidrológicos, panel fotográfico aéreo y terrestre con vistas generales y en detalle, así como fichas técnicas estandarizadas, fichas de supervisión, planos topográficos y arquitectónicos, y cuadernos de obra. La documentación de los anteriores ENSO se ha dispersado o perdido.

Referencias Bibliográficas

MOGROVEJO, Juan Domingo; Cristóbal, MAKOWSKI. (1999) *Cajamarquilla y los meganiños en el pasado prehispánico*. EN **Íconos**. N° 1 (1) pp.46-57, Instituto Superior de Conservación Yachay Wasi, Lima.

MORALES, Ricardo. (2014). *Huaca de la Luna Project: Research and Conservation of Earth-based Architectural and Mural Painting*. EN **Earth. Several Approaches to the Conservation and Restoration of Art Made with Different Materials**. Edizioni Musei Vaticani. pp. 55-76. Città del Vaticano.

MORALES, Ricardo. (2013). *Conservación ambiental de los contextos arqueológicos. Reflexiones y deslindes teóricos sobre cubiertas, cortavientos y drenajes*. EN **Arkinka**17 (208): 96-103. Arkinka S.A, Lima.

MORALES, Ricardo. (2012). *Espacios Arquitectónicos, Ceremoniales e Iconografía Litúrgica en Huaca de la Luna, Valle de Moche*. EN **Tesoros Preincas de la Cultura Mochica: Señor de Sipán, Huaca de la Luna y Señora de Cao**. pp 11 - 127. Ayuntamiento de Cádiz. REPSOL, Ministerio de Cultura, Fundación Wiese y Embajada de Perú en España. Cádiz.

MORALES, Ricardo. (2011). *Factores meteorológicos, geofísicos y químicos que influyen en el proceso de erosión de la arquitectura prehispánica de tierra: caso huaca de la Luna, Trujillo, Perú*. EN **Perspectivas Latinoamericanas**, N° 8, pp. 51-83. Centro de Estudios, Latinoamericanos, Universidad Nanzan, Nagoya, Japón.

STOVEL, Herb. (2003). *Preparación ante el riesgo: un manual para el manejo del Patrimonio Cultural Mundial*. ICCROM, Roma.

Breve reseña biográfica

Ricardo MORALES

Estudios Superiores: Universidad Nacional de Trujillo. Conservación: ICCROM, IRPA y Universidad Alcalá de Henares. Experiencia: Chan Chan (1974-87). Director Proyecto Arqueológico Huacas del Sol y de la Luna (1991-2017). Consultoría UNESCO: Carabuco y Potosí (Bolivia), Tierra Adentro (Colombia), Kuntur Wasi y Chavín (Perú). Premio Internacional Reina Sofía en Conservación del Patrimonio Cultural (2005). Presidente Programa de Prevención ENSO, Ministerio de Cultura, Perú. Miembro ICOMOS Perú.



Adobe structures of Tigranakert in Artsakh.

Hamlet L. PETROSYAN, Lyuba V. KIRAKOSYAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Summary

On the territory of the Armenian Highland the usage of unbaked bricks in buildings goes back to thousands of years. A classic example of building techniques of stone base and brick walls gives Urartu (Tushpa, Erebuni, Teishebaini, Ayanis). In the systems of antique and Hellenistic reinforcement (Armavir, Artashat) the mass usage of unbaked bricks is presented as well.

The goal of the research is the analysis of new founded unbaked brick constructions of Tigranakert in Artsakh, their forms and measurements, their functions as parts of fortification systems and dwellings.

The results obtained enable us to propose that in the case of Tigranakert due to the rich stone quarry, unbaked brick constructions had less prevalence than in simultaneous Hellenistic settlements.

Context of the research

Numerous Hellenistic fortified settlements of Armenian Highland and its surroundings (4th century BC-3rd century AD) give us many examples of unbaked brick walls on the stone base. The constructive technique of those constructions derived directly from fortifications of Urartu (9th-7th centuries BC). At the same time, thanks to the abundance of stone material, Armenia is also famous for its stone-made powerful defense complexes such as fortress of Garni, Armavir, Artashat, etc. In this context, the unbaked brick structures of Tigranakert in Artsakh are interesting case for a discussion, which are combined with stone base of up to six meters in height.

Main objectives

The main purpose of the research is to find out the type of constructive technique of unbaked brick walls adjoined to the stone walls of Fortified area of Tigranakert and their relationship with the stone walls.

Results obtained

At the end of the research we can conclude that although it is likely that brick walls were built as part of the initial construction, still it cannot be excluded that a significant part of excavated brick structures were added or attached to the stone walls in the Sassanid era (3rd-7th centuries AD).

Introduction

Classical city of Tigranakert is located in the internationally unrecognized republic of NagornoKarabakh, in Askeran region. This city is located in the Inner Valley of the Highlands' second largest river Khachenaget. It occupies approximately 70 hectares area. The city was founded by the Armenian king Tigran II the Great (95-55 BC) at the end of 90s BC. During the excavations the following was uncovered: the upper part of Classical (antique) Fortified area and its Citadel; the 83 meter-long defense wall separating the Citadel; 450 meter-long rock foundations of the southern walls of Fortified area; the part of northern wall having approximately 220 meter length and 5m height; the First antique area; the early Christian Square in the Central area with remains of two churches (Petrosyan, H., Kirakosyan, L., Safaryan, V., Zhamkochyan, A., Vardanyan, R., Karapetyan, I., Vardanesova, T. The Discovery and First Results of Archaeological Investigation of Tigranakert in Artsakh, 2005-2009 (2012), *Archaeology of Armenia in Regional Context*, Yerevan, Gitutyun, pp. 223-235).

The defensive walls of Tigranakert's Fortified area consists of stone inner parts and supposedly unbaked brick upper parts. It's a constructive technique, classical examples of which could be seen in Urartu. However, Tigranakert walls preserved stone-line with up to 5 meter- height. In some places the restoration of not saved stone-lines gives us an opportunity to make the most height of walls up to 6 meter. This fact shows that the stone inner parts of defensive walls were higher than usual. Perhaps it was due to the availability of stone materials, as the stone quadras (hewn rubble masonry) were cut in the spot.

Unbaked brick additives have not been ratified yet on the walls of Tigranakert fortifications. They would obviously belong to the pre-wall. It is quite possible that the huge part of the brick walls found during the excavations is a result of the restoration. A special layer of flat slabs for the entire length of the basis was created, in order to put the brick lines on the stone base in Urartu fortifications (compare for example with Ayanis, see Harmanşah, Ö. (2009). *Stones of Ayanis: New Urban Foundations and the Architectonic Culture in Urartu during the 7th C. BC. Bautechnikimantiken und vorantikenkleinasien*, Zero Prod., Editor M. Bachmann, Istanbul, p. 191, Fig. 8). Such layers are found also in Tigranakert, but they are verified not on the defensive stone walls, but are adjoined to them. The fact that unbaked brickworks were on the stone walls can be proved by an indicator of a good conservation of stone walls. It can be stated that the remains of the walls found during the excavations in Tigranakert are covered with a thick layer of clay. Such accumulations of clay on slopes of rock hills are impossible to explain without accepting the fact that brickworks on the top of the walls collapsed during the time and "hide" lower stone-made parts. By examining the Sassanian seals found here, the city preserved its defensive and administrative functions in early Middle Ages. It can't be excluded that the bulk of brick segments were made at that time. Anyway, according to nowadays data, the walls had originally unbaked brickworks. The same cannot be said about the structures inside the Citadel. At least, in four sections along the stone walls the excavations ratified the simultaneous significant portions of unbaked brick walls. The letters were put on platforms of small stones and slabs (Fig 1). Taking into account the above-mentioned circumstances, starting the first steps of observations in the Fortified area of Tigranakert the issue of usage of unbaked brick and clay is particularly in the center of the attention. However, we should note that though the remains of unbaked bricks were seen since the beginning of the excavations, only in 2009 we could clearly validate the remains of unbaked brickworks. Later, in parallel to the opening of northern walls the remains of brick walls became almost regular. In addition to many unique manifestations of complete or partial bricks are being ratified in almost every levels of clay layer. Also, it can be stated about the regular and large six layers of unbaked bricks (up to 5 meters high).

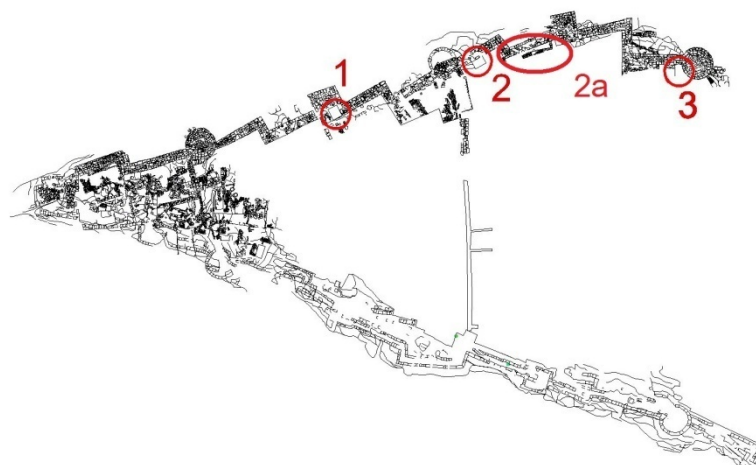


Fig. 1 Brick parts near the northern defensive wall.

First of those was validated in 2009-2010. It is located on the first rectangular tower (Fig.2). We could fix the following measures of the brick wall: in the West, with North-South direction - 4,70m, the height 1m; from West to East - 5,80m with 0,80m height; with 4,5x4,5m² surface and 1,0m height mass consisted of unbaked bricks, where the sizes of some bricks are visible (height - 12, 13 cm, length - 42, 43 and width). Six rows of bricks were uncovered in the Western part of the wall. Its horizontal range has 1,8-2 cm length. The vertical range ties - 3 cm. Here we deal with two issues. The first one is related to the height of the first brick wall which is circa 1,5 m. The second one is that the unbaked brickworks go on and off the tower. It doesn't intersect equally with the pitch. Before the additional research is done, it can be verified that its belonging to the initial wall need to be proven.

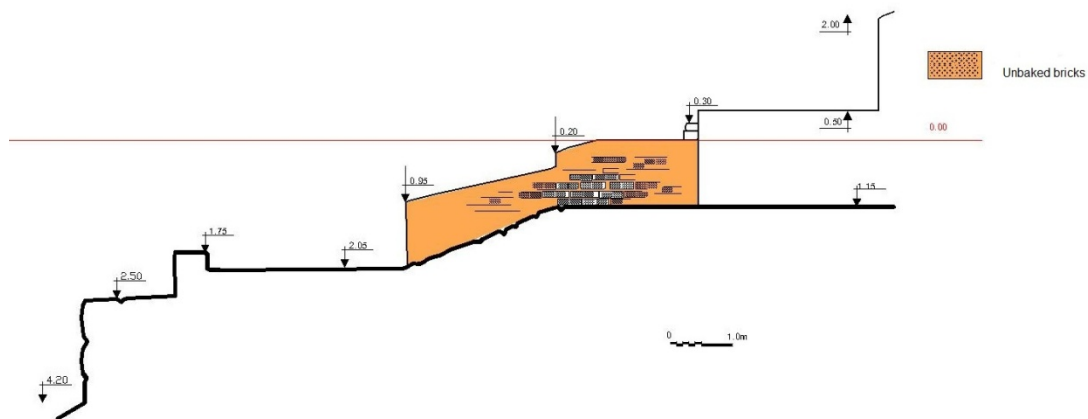


Fig. 2 First rectangular tower, longitudinal section of brick construction.

The part near the second round tower was excavated in 2012 (Fig. 3). It is perpendicular to the defensive wall and almost touching it. It is also noteworthy the foundation stone: broken stones, piled on the basis of a relatively standard set in an array of sizes 3,4 x2,7 x2,5 m. Here it was possible to specify the latitude of some bricks. This founded sector shows that there have been many rectangular bricks (44 x 32 x 12, 44 x 32 x 15, 43 x 32 x 12, 41 x 32 x 12, 35 x 33 x 12 cm) and square (32 x 32 x 12 cm) bricks. It is also noteworthy the usage of vertical logs. The traces of one vertical log have been preserved. Hardly this wall could lean on the defensive wall, because the brick wall would block the movement along the defensive wall. Possibly it was attached later.



Fig. 3 Brick section near the second round tower.

The part attached to the second rectangular tower is also very remarkable (Fig. 4). In this case we can confidently state about a building and not a single wall. Only East-West stretched wall with 7m length and the Northern-Western corner is preserved. By the way, the stone foundation is smoothed approximately. One part of it is put on the clay base, and the other part is just on the rock. This corner of the wall is worthy of attention, because it has 4 rows of stone in front of the other one row of the wall. We have the similar picture also for the forth case. In other words, the stone corners of brick building are higher, which obviously strengthened the structure. One wall of this building was stretching parallel to the defensive wall, while the other part of the building was increasing in the interior of the fortress.



Fig. 4 Brick section near the second rectangular tower.

This section was founded in 2013 between the second round and rectangular towers. First of all, it is worth noting the regularity of stone foundation, the usage of longitudinal hewn stones and considerable height (1.30 m).

Brick wall on the stone base near the third round tower was unearthed in 2015 (Fig 5). Comparing with the defensive wall, the base is made by smaller stones. The top row of the base was made by smoother stones. It was covered with the clay layer and added brick upper wall. In the front of the brick wall toward the defensive wall, it can be clearly seen five rows of bricks. The brick wall is put here with 1.3 m height limestone (up to 1.1 long and 0.5 m height). Those limestones are put canonically on the three-layered base. Only the length and the height of bricks could be validated. The lengths are: 42, 43, 50cm, heights are: 11, 13 cm. Attached to this there is another brick wall which was put directly on the rock. As a result, the lines of the rows were curved.



Fig. 5 Brick section near the third round tower.

Collected data indicate the fact that the unbaked bricks didn't have standard sizes. Therefore, we can state about more common sizes such as height 12cm, length 41-43cm, width 20-32cm. In Artashat the blocks are also different in their sizes. Frequently met heights are 15cm and 18cm, width in the range of 40-70 cm. Preliminary comparisons of Urartu unbaked bricks give the following picture: prevailing height is 14cm, length 51.8cm, and the width 35cm.

Conclusion

This research shows that in contrast to the defensive walls, rocks were not worked out for unbaked brick walls. They could have clay and stone bases. As a rule, they are made sloppy. Special efforts were not made also for creating smooth surfaces for the first row of the bricks. The bricks of the same row have different sizes. They are cubes, squares combined with rectangular and flat bricks. Comparing with the regularity and high technique of defensive walls and its stone rows, the brick rows are irregular and ragged. They could hardly carry defensive functions.

The preliminary conclusion is that the excavated brick rows are not closely related to the constructive technique of the originally stone defensive walls. It's more likely that they belong to the early medieval period. This is a thesis, which still needs collecting new data and analysis on the basis of the testing results.

Bibliographical references:

Petrosyan, H., Kirakosyan, L., Safaryan, V., Zhamkochyan, A., Vardanyan, R., Karapetyan, I., Vardanesova, T. The Discovery and First Results of Archaeological Investigation of Tigranakert in Artsakh, 2005-2009 (2012), *Archaeology of Armenia in Regional Context*, Gitutyun, Yerevan.

Harmanşah, Ö. (2009). Stones of Ayanis: New Urban Foundations and the Architectonic Culture in Urartu during the 7th C. BC. *Bautechnikimantiken und vorantikenkleinasien*, Zero Prod., Editor M. Bachmann, Istanbul.

Biographical notices

Hamlet L. Petrosyan is a specialist on Armenian archaeology, monuments and iconography. He is a head of Archaeological mission of Tigranakert in NagornoKarabakh, teaches courses on Armenian medieval archaeology and culture and cultural heritage at Yerevan State University. He has more than 10 books and more than 120 publications on above mentioned topics.

Lyuba V. Kirakosyan is a specialist on history and restoration of Armenian architecture, an architect of Tigranakert's archaeological mission. She teaches courses on history of architecture, city space organization, restoration of architectural monuments at National University of Architecture and Construction of Armenia and Yerevan State University. She has published 48 articles and 2 books.



Tipologías de vivienda alpaquera altoandina en Puno - Perú.

Gayoso CARRANZA , Pacheco ZÚÑIGA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

Las viviendas alpaqueras altoandinas demuestran diversas soluciones adoptadas por los pobladores para proveerse de un espacio controlado dentro de un amplio espacio natural. Esta tradición constructiva debiera ser rescatada y mejorada para dar respuesta a la situación de habitabilidad altamente vulnerable en la que se encuentran actualmente. La investigación busca determinar tipologías de la vivienda alpaquera altoandina y definir qué variables socioculturales la condicionan, además de formular recomendaciones para las viviendas existentes y futuras intervenciones.

La metodología empleada para dar respuesta a la pregunta de investigación, es el estudio de caso con análisis y comparación posterior. Los resultados muestran tres tipos de vivienda, cuya autoconstrucción es influenciada por la situación socio-económica de los usuarios.

Se concluye que la tierra es el material idóneo para contrarrestar las inclemencias climáticas del lugar, sin embargo una intervención arquitectónica no debe ser meramente la repetición de estrategias existentes en pos de la conservación de la cultura actual, en cambio se deben validar las estrategias actuales, complementarlas con nuevos criterios de diseño y aplicar un proceso de ejecución participativo empleando la mano de obra local, para promover la continuidad cultural y la sostenibilidad en lo social, cultural y económico.

Introducción

El Perú es uno de los países con mayor vulnerabilidad al cambio climático por nuestra ubicación geográfica. Las comunidades alpaqueras altoandinas se encuentran expuestas ante eventos como los sismos y bajas temperaturas, que incluso llevaron al gobierno peruano a declarar Puno en estado de emergencia durante la temporada de heladas del año 2013; por ello no presentan condiciones seguras para ser habitadas en este contexto. Esta situación ha generado diversas campañas para mejorar las viviendas y la salud de los pobladores, sin embargo algunas de las intervenciones realizadas son una repetición de tecnologías foráneas que además de no ser compatibles con el contexto social, ambiental y/o cultural; muchas veces no tienen una correcta ejecución (Fig.1).



Fig.1 - Muro trombe ejecutado incorrectamente.

Se ha obviado el paso más importante antes de realizar cualquier tipo de intervención, que es, conocer cómo vive el poblador, cuál es su cosmovisión y cómo se apropia del espacio, pues el proceso de evolución de la vivienda revela la capacidad creativa del usuario para transformar su entorno inmediato, tierra y piedra, en un espacio útil que responda a su estilo de vida: el pastoreo de camélidos sudamericanos.

La investigación plantea generar conocimiento de la forma de habitar y las distintas dinámicas que el pastor establece en el escenario altiplánico para adaptarse al medio que los rodea, de modo que las futuras intervenciones coloquen al habitante como sujeto focal y único de la arquitectura.

1. CONTEXTO

El estudio se desarrolla en la comunidad rural Choroma, localizada en la zona altiplánica del sur del Perú, emplazada a 20 km aproximadamente del centro poblado Santa Lucía. Los extensos bofedales y pajonales que caracterizan este territorio (Fig.2), ubicado entre los 4000 y 4800 msnm, hacen que este escenario sea perfecto para que los pobladores puedan realizar el pastoreo de camélidos sudamericanos, que no es solo una actividad económica sino que demuestra el vínculo de reciprocidad (*ayni*) entre hombre-animal (Milla, 1983).

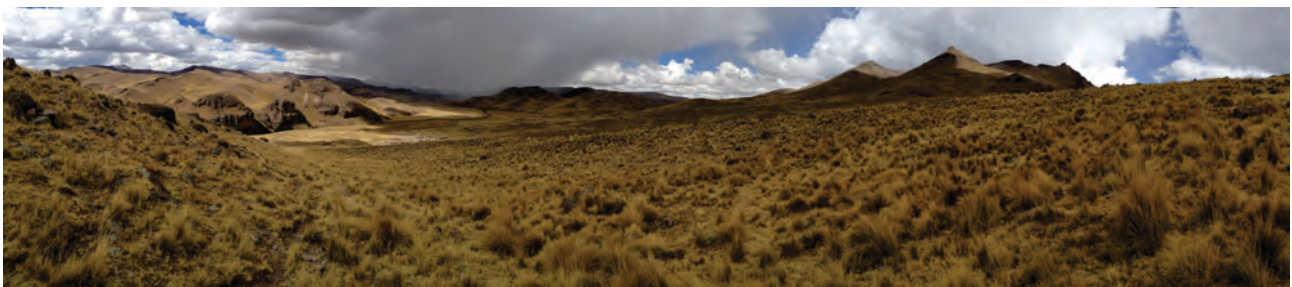


Fig.2 - Territorio de la comunidad rural Choroma, en Puno-Perú.

Sin embargo, el clima en la puna es hostil y difícil para la vida, se caracteriza por presentar temperaturas relativamente constantes todo el año, con fluctuaciones pronunciadas entre las horas del día y la noche, que pueden llegar, en los meses más fríos, hasta 21°C. Del mismo modo, las heladas, reducen en gran medida el rendimiento de la ganadería por lo que la actividad del pastoreo demanda la inversión de extenuantes horas de trabajo.

Ante esta situación los pobladores han adoptado la tierra como material predominante en sus edificaciones, en las que los volúmenes compactos con vanos de reducidas dimensiones logran mantener el calor al interior. Con estas soluciones los pobladores han logrado una perfecta armonía entre el paisaje natural y el paisaje cultural.

2. METODOLOGÍA Y ABORDAJE TEÓRICO

La muestra para el estudio de caso fue de 15 viviendas escogidas indistintamente (Fig.3), estas corresponden al 30% de la totalidad de viviendas ubicadas en la comunidad. La revisión de bibliografía, elaboración de encuestas con preguntas cerradas politómicas, desarrollo de entrevistas semi estructuradas y el levantamiento gráfico y fotográfico de las viviendas; fueron las herramientas aplicadas para la recolección de información, que posteriormente fue analizada, comparada y clasificada.



Fig.3 - Viviendas analizadas de la comunidad rural Choroma.

La investigación, que se realizó entre el 2012-2014, desarrolla la reflexión sobre tres conceptos clave: la vivienda como expresión material de la cultura (Rapoport, 2003) y por tanto se deben entender conceptos de la antropología andina referidos a las características de la vivienda (Mayer, 2004) y el estrecho vínculo entre hombre y animal generado por el pastoreo (Flores, 1977); la clasificación de la vivienda en tipologías según criterios de organización espacial, materialidad programa arquitectónico (Caniggia, 1995) aplicadas al contexto rural y enfocándose en edificaciones de base que reflejan características y conceptos propios de este área cultural; y la apropiación del espacio como proceso de relaciones entre el hombre y el hábitat (Norberg-Schluz, 1975), donde el poblador indica como propio, aquello que simbólicamente expresa su identidad (Muntañola, 2001).

3. RESULTADOS

3.1 Variables socioculturales que condicionan el entrono construido

De las variables encontradas (cosmovisión, actividad económica, nivel de pobreza, dinámica social, educación, estilo de vida, formas de alimentación, festividades sociales y religiosas, etc.), es necesario destacar que la relación hombre-animal es una unidad indivisible, y que la vivienda y la conformación de los espacios son el reflejo de su actividad principal, el pastoreo. Existe un vínculo de reciprocidad muy fuerte con los animales, son considerados como un integrante más de la familia, al que deben protección incondicional y por ello sus viviendas deben contemplar espacios para ellos.

Además la importancia de la “apropiación del espacio” como el proceso por el cual el poblador altoandino se adapta y transforma el medio que lo rodea para así crear un espacio habitable acorde a sus necesidades, materializando así sus anhelos.

Las estrategias de apropiación del espacio en la comunidad estudiada, están referidas a la auto-construcción, auto-transformación y planificación de sus viviendas, basándose en

conocimientos que obtienen por medio del aprendizaje familiar y del conocimiento acumulado dentro de su comunidad, cabe mencionar que la utilización de materiales del entorno inmediato para la construcción genera que los lugares modificados por el hombre se mimeticen con el medio natural. Además, existen factores que influyen negativamente, como son la pobreza, falta de acceso a saneamiento básico y no contar con asesoría técnica o profesional competente. El patrón de poblamiento disperso que presentan, se debe a la actividad económica a la que se dedican (el pastoreo, vínculo indivisible hombre-animal), por lo que necesitan grandes pastizales. Estos amplios terrenos donde se emplazan hacen que el “espacio existencial” del usuario no se circunscriba a los límites físicos construidos de su vivienda, sino también fuera de ella (Fig. 4), efectuando recorridos hacia los corrales de los animales, recorriendo caminos para recolectar agua en fuentes naturales, pastando a su ganado, entre otros. Este proceso se realiza en un lapso indefinido, pues los volúmenes que componen la vivienda se edifican progresivamente. La razón puede atribuirse a la transformación de composición familiar (de nuclear a extendida) o porque las imágenes e ideales del usuario, acompañados de mejores ingresos económicos, han variado en el tiempo.

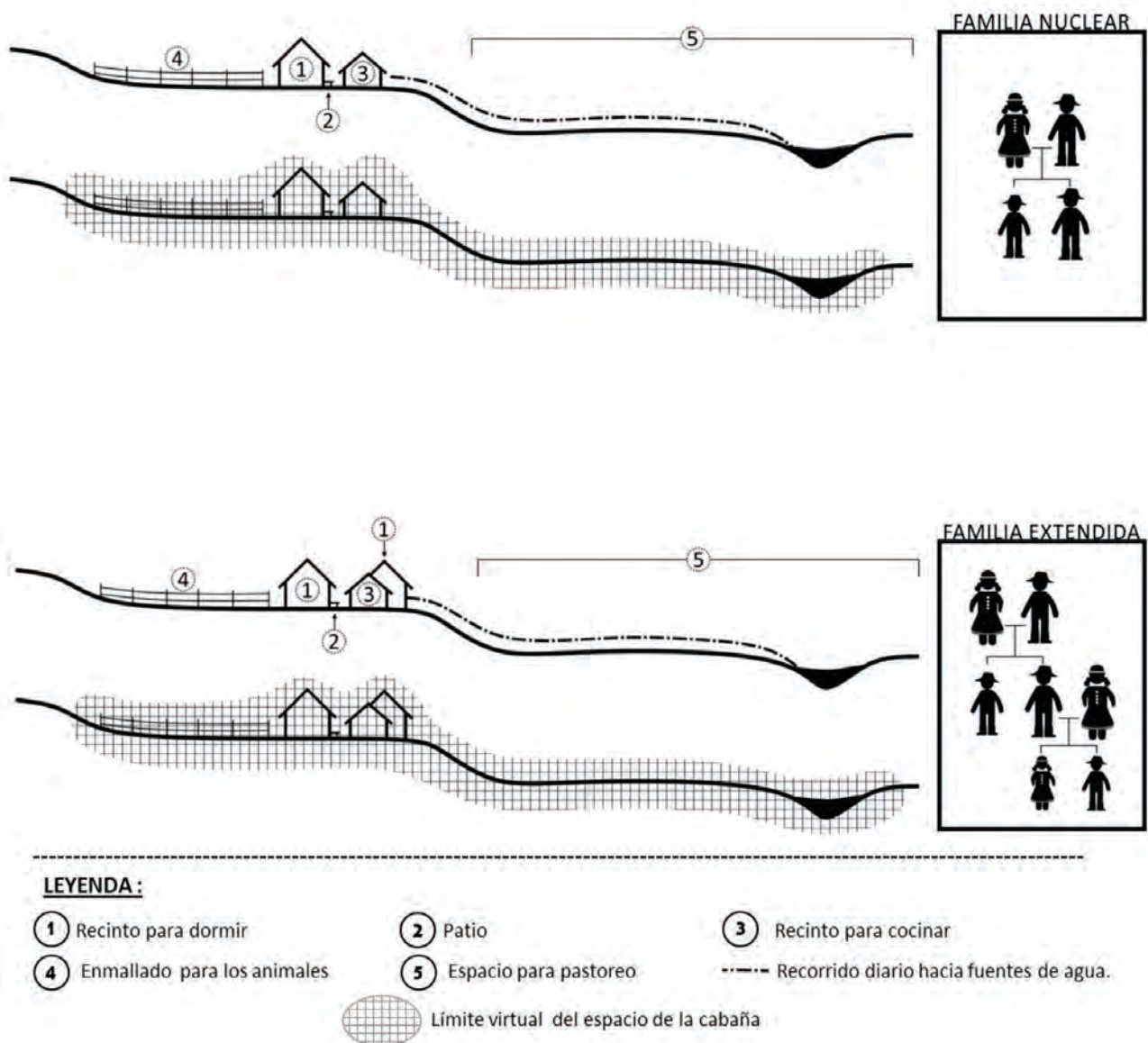


Fig.4-Apropiación del espacio en la comunidad estudiada.

3.2 Definición de la vivienda alpaquera altoandina

3.2.1 Sistema constructivo y materialidad

Las edificaciones registradas siempre presentan muros portantes como sistema constructivo, estos pueden ser de tres tipos: Muros de tierra, se emplean adobes de 0.50x0.30x0.08m, con mortero de barro de 0.02m de espesor y aparejo de soga, esto resulta en un muro de 0.30m de espesor; en caso presenten revestimiento, este será de paja con barro y de 0.02m. Los muros de piedra, tienen un espesor de 0.50m, se emplean piedras redondeadas y angulares de distintas dimensiones unidas con mortero de barro, nunca llevan revestimiento. En ambos casos, muros de tierra o piedra, la cimentación es corrida, hecha de piedras con mortero de barro, con el mismo espesor del muro que soporta. El nivel de fondo de cimentación es de -0.40m y posee una altura total de 0.70m, sobresaliendo del nivel de la tierra 0.30m. Cabe señalar que los muros no poseen ningún elemento de arriostre horizontal o vertical y las longitudes de muros encontradas pueden llegar a ser de hasta 5.00m. El tercer tipo de muro se conforma por planchas de zinc de 0.2mm como cerramiento y bastidores de madera cepillada de 3" como estructura. Estos muros se apoyan en un cimiento de concreto ciclópeo de 0.15m de espesor. El nivel de fondo de cimentación es de -0.30m, con una altura total de 0.50m.

Los techos son principalmente de dos tipos: El primero es a dos aguas, su estructura está compuesta por tijerales de madera rolliza de 3" aproximadamente espaciados cada 0.60m, con entramado de madera y caña, todo apoyado sobre una viga solera; la cobertura final es variable, puede ser de planchas onduladas de zinc de 0.2mm de espesor o de ichu; el volado que produce este techo es de 0.50m aproximadamente. El segundo tipo, es de un agua, su estructura está compuesta por vigas de madera cepillada de 3", con correas de madera de 2", en la mayoría de casos las vigas se apoyan directamente a los muros portantes. La cobertura final es siempre de planchas onduladas de zinc de 0.2mm de espesor, y el volado tiene una distancia aproximada de 0.10m.

Finalmente se presentan cuatro tipos de pisos: El de tierra apisonada, registrado en 86% de los recintos; el de madera, registrado en 6% de los recintos, con durmientes de 2"x2" y entablado de madera de 4"x1/2"; el de piedra, utiliza piedras redondeadas o angulares con 2" de distancia entre ellas, empleado en 6% de los recintos; y el de cemento, son losas vaciadas de 0.10m con concreto simple, 2% del total.

3.2.2 Componentes de la vivienda alpaquera altoandina

La vivienda está conformada por cuatro volúmenes independientes como elemento trascendental, que se componen por un "recinto para dormir", un "recinto para cocinar y comer", y dos "recintos para almacenar". Además poseen un patio como espacio de interacción social y organizador de la vivienda; una letrina, área de servicio que no ha sido edificada por los pobladores pero se presenta en todas las viviendas, y finalmente tres espacios destinados para los animales: corrales y cobertizos.

Las características promedio de los componentes que conforman los recintos y espacios antes mencionados son los siguientes:

I. Recinto para dormir: El área promedio es de 17.73m²; los pisos son de tierra apisonada; los muros son de tierra (adobe), con una altura interior promedio de 2.50m, sin revestimiento interior o exterior; presenta techos de un agua con ángulo de inclinación de 8°, la cobertura es de láminas onduladas de zinc, no poseen aislamiento y presentan

filtraciones; para iluminar y ventilar emplean una ventana de 0.43m^2 , con perfil metálico y vidrio simple, el encuentro con el muro presenta intersticios; y en el vano de ingreso se ubica una puerta de lata con bastidor de madera de 0.97m^2 , además cuenta con intersticios en el encuentro con el muro y el piso. Los vanos se encuentran orientados mayoritariamente hacia el este.

II. Recinto para cocinar y comer: El área y el material de los muros varían según el tipo de combustible utilizado para cocinar: gas o bosta, siendo el segundo el de mayor uso pues todas las viviendas cuentan con una.

Los recintos para utilizar combustible bosta, tienen un área promedio de 7.40m^2 ; presentan muros de piedra con mortero de barro, con una altura interior promedio de 1.83m , sin revestimiento interior o exterior; pisos de tierra apisonada; techos de dos aguas, con ángulo de inclinación de 27° y cobertura de ichu, presentan filtraciones y en ningún caso aislamiento interior; en el vano de ingreso se ubica una puerta de lata con bastidor de madera que tiene un área promedio de 0.79m^2 , presenta filtraciones en el encuentro con los muros y el piso; no presentan ventanas, las cocinas no tienen chimenea y la ventilación del recinto se realiza por los intersticios formados en algunas zonas de los muros por falta de mortero, la falta de cerramiento en el tímpano de los muros, o por el encuentro muro-techo.

Los recintos para utilizar combustible gas (27% de la muestra) utilizan mayoritariamente tierra (adobe) como material para sus muros, sin revestimiento interior o exterior, con una altura interior de 2.45m ; pisos de tierra apisonada; los techos mantienen la cobertura de ichu, son de dos aguas con ángulo de inclinación es de 32° .

III. Recinto para almacenar: Presenta muros de piedra con mortero de barro, sin revestimiento interior o exterior, la altura interior es de 2.00m y el área promedio de 10.69m^2 ; los pisos son de tierra apisonada; los techos presentan filtraciones, son de un agua con ángulo de inclinación de 8° y cobertura de planchas onduladas de zinc; no cuentan con ventanas, y el vano de ingreso presenta una puerta de lata con bastidor de madera con un área promedio de 0.79m^2 que además genera intersticios con el encuentro con los muros y el piso.

IV. Patio: Es un espacio sin techar de 62.87m^2 y piso de tierra apisonada, que funciona como elemento ordenador en la composición de la vivienda. Generalmente en el perímetro de este se ubica un muro de piedras apiladas (pirca) que tiene una altura de 1.00m .

V. Letrina: Es un cubículo pre-fabricado de planchas onduladas de zinc, tiene un área de 1m^2 , se ubica a 10m de distancia del "recinto para dormir", y ha sido otorgado a los pobladores por gestión municipal.

VI. Corrales y Cobertizos: Los corrales son espacios sin techar, se registran tres por vivienda, dos de ellos tienen muros de pirca (canchones) de 0.80m de altura y 0.50m de espesor, el área es de 450m^2 ; y uno de ellos tiene cerramiento de malla metálica de 0.80m de altura y un área de 425m^2 , en ambos casos los pisos son los naturales del terreno pues cambian su posición cíclicamente.

Los cobertizos se encuentran en 29% de las viviendas registradas, su área es de 160m^2 , los muros son de adobe y la mitad del espacio está techado con planchas onduladas de zinc.

3.2.3 Diagnóstico de daños en las edificaciones

Los muros de los recintos comparten la falta de seguridad estructural ya que no emplean elementos de arriostre horizontal y vertical que hagan a la edificación resistente ante un evento sísmico; estos al igual que los sobre cimientos no poseen revestimiento y por tanto se encuentran expuestos a la erosión, poniendo en riesgo la seguridad de los habitantes. Existen intersticios en el encuentro de las ventanas y puertas con los muros y el piso, del mismo modo el aire se filtra a través del encuentro muro-techo.

Las ventanas de los recintos no permiten la iluminación natural necesaria, y los materiales de este componente propician la pérdida de calor, además no permite una adecuada renovación de aire. Los pisos no evitan el paso de la humedad al interior de los recintos. Los techos no presentan aislamiento, los que utilizan cobertura de ichu no tienen mantenimiento periódico y los de un agua que usan láminas de zinc no tienen un ángulo de inclinación adecuado.

Los recintos para cocinar y comer no poseen chimeneas o ductos de ventilación; por ese motivo, el hollín generado al cocinar es inhalado por los residentes y además está impregnado en las paredes, techos, utensilios de cocina y elementos que se encuentran al interior de los espacios. La distancia entre la letrina y los recintos para dormir propicia la utilización de bacines al interior (Fig. 5).

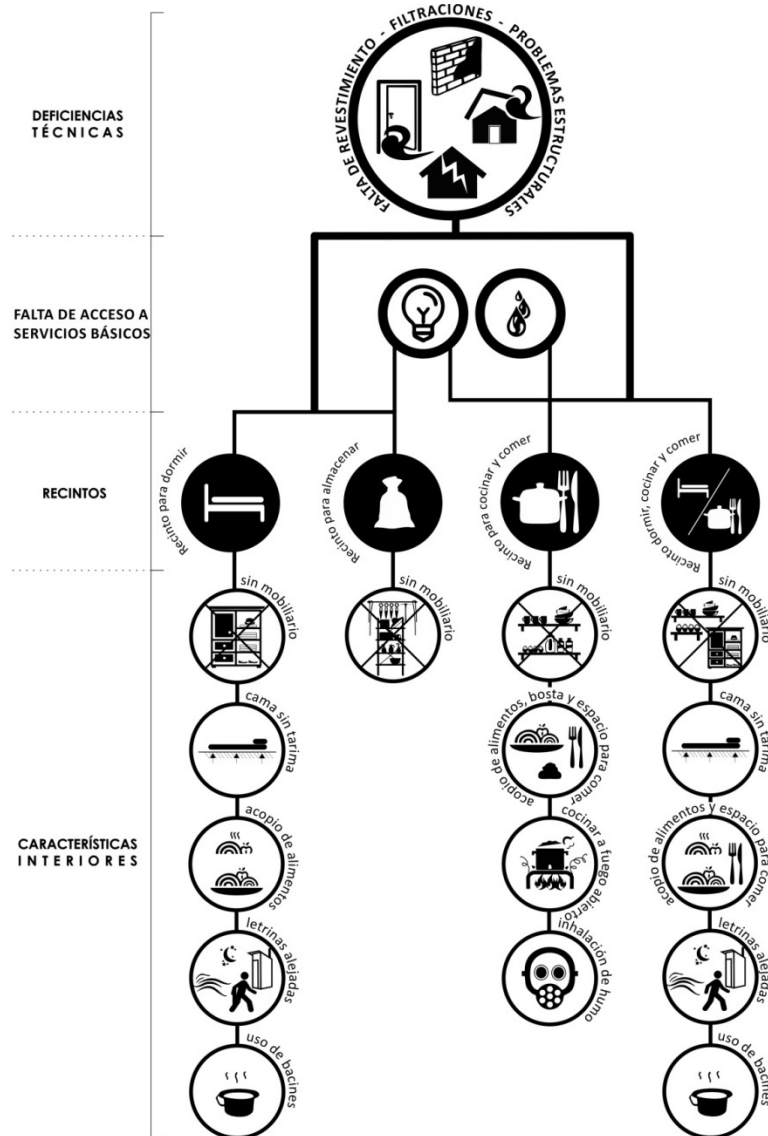


Fig.5 - Diagnóstico de daños en las edificaciones.

3.3 Tipologías de vivienda alpaquera altoandina

Las variables utilizadas para la comparación y clasificación de las viviendas (Fig. 6) fueron: la organización espacial, en referencia al emplazamiento de los volúmenes y los modos de ingreso a los recintos; la forma; la función, para lo cual se estableció que las tres actividades principales que se desarrollan al interior de los distintos volúmenes son descansar-dormir, cocinar-comer y almacenar; y la materialidad de las edificaciones, que pueden ser tradicionales (tierra, piedra o paja) o industrializados (planchas de zinc).


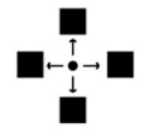
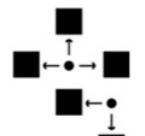
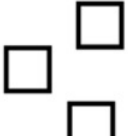















ORGANIZACIÓN ESPACIAL	Modelo de organización	 Agrupada por proximidad	 Radial a partir de un patio central	 A través de múltiples patios o un patio extendido
	Distribución de los recintos	 Próximos	 Contiguos o dentro del mismo volumen	
	Ingreso a los recintos	 Desde el exterior	 A través de otro espacio (vinculado interiormente)	
FORMA	Geometría	 Ortogonal	 Redondeado	
	Orden	 Simétrico	 Asimétrico	
MATERIAL	Techo	 Tradicional	 Industrializado	
	Muros	 Tradicional	 Industrializado	
FUNCIÓN / PROGRAMA ARQUITECTÓNICO	 Recinto para dormir	 Recinto para cocinar y comer	 Recinto para almacenar	 Recinto para dormir, cocinar y comer

Fig.6 - Variables utilizadas para definición de tipologías.

3.3.1 Definición de tipos

El tipo autóctono (T 1) (Fig. 7), se conforma por la agrupación de cuatro volúmenes como máximo, organizados a través de un patio central distribuidor. Todos los volúmenes tienen planta ortogonal y simétrica, y se encuentran emplazados de forma próxima. Los materiales empleados en los muros son siempre de material tradicional y los techos son mayoritariamente de material tradicional.

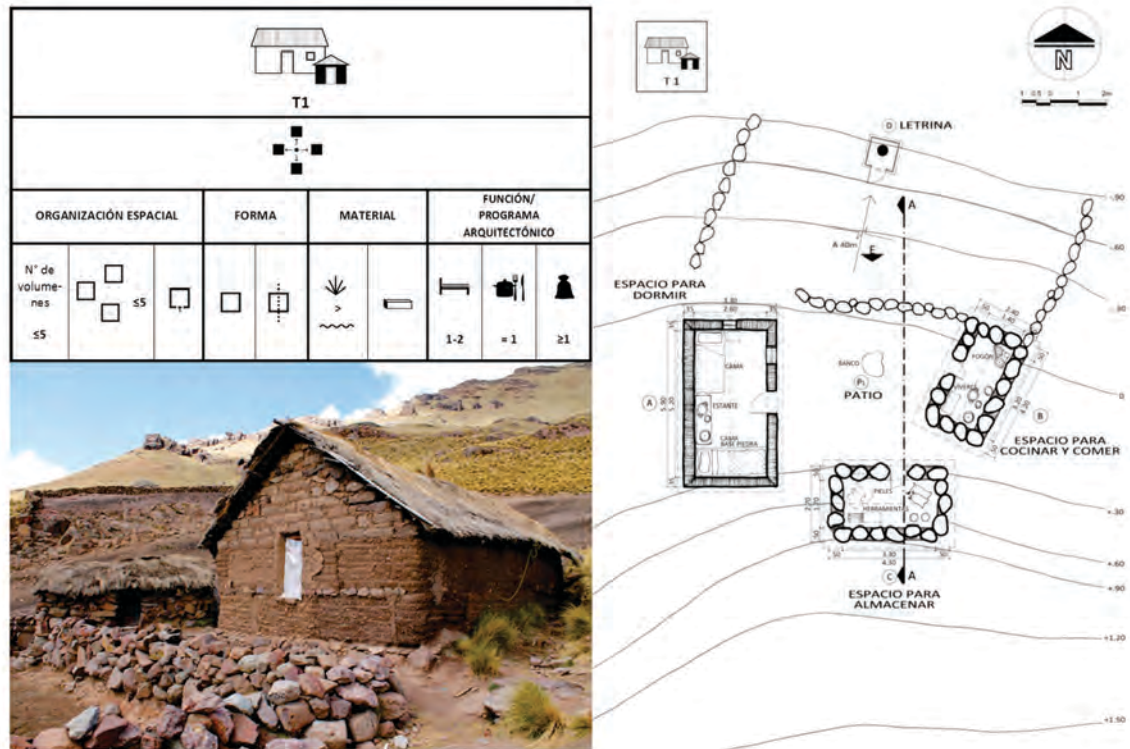


Fig.7- Características del tipo autóctono.

El segundo tipo identificado es el tradicional (T2) que se sub-divide en tres categorías. La primera sub-división es el tipo tradicional simplificado (T 2A), lo más resaltante es que está conformado por la agrupación de tres volúmenes como máximo emplazados por proximidad y no posee patio organizador. La segunda sub-división es el tipo tradicional base (T 2B) (Fig. 8), conformado por la agrupación de cuatro volúmenes como máximo y organizado a través de un patio. Los volúmenes son mayoritariamente próximos, pero se identifican dos volúmenes contiguos o un volumen con dos recintos interiores. En todos los casos el acceso a los recintos se realiza desde el exterior del volumen. Todos los volúmenes tienen planta ortogonal y simétrica. Respecto a los materiales empleados, los muros son siempre de material tradicional, al igual que al menos uno de los techos. La tercera sub-división de este tipo es el tradicional expandido (T 2C), muy similar a la subdivisión anterior pero está conformada por la agrupación de cinco o más volúmenes que se organizan a través de un patio expandido o múltiples patios distribuidores, ya que albergan a familias extendidas.

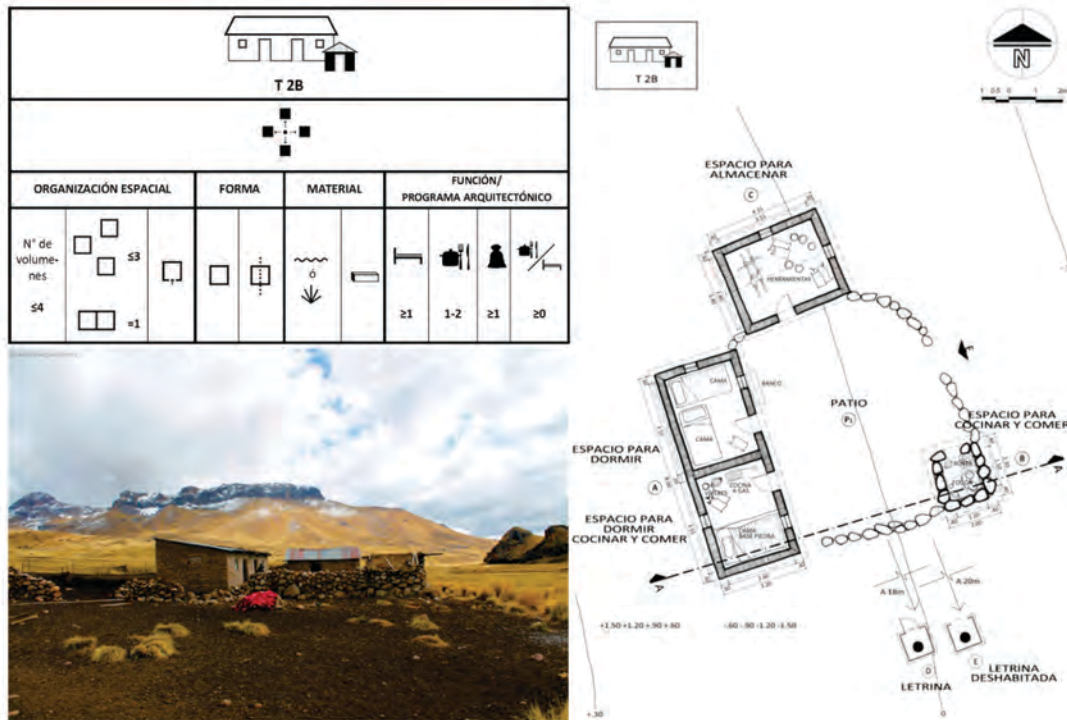


Fig.8- Características del tipo tradicional-base.

Finalmente el tercer tipo, es el tradicional en transición a contemporánea (T 3) (Fig. 9), conformada por la agrupación de tres volúmenes como mínimo que en su mayoría están organizados alrededor de un patio. Se identifica al menos un volumen con dos o más recintos en su interior que se encuentran vinculados interiormente. Los volúmenes tienen planta ortogonal y una de ellas puede ser asimétrica. Respecto a los materiales empleados, los muros son de material tradicional y los techos de material industrial.

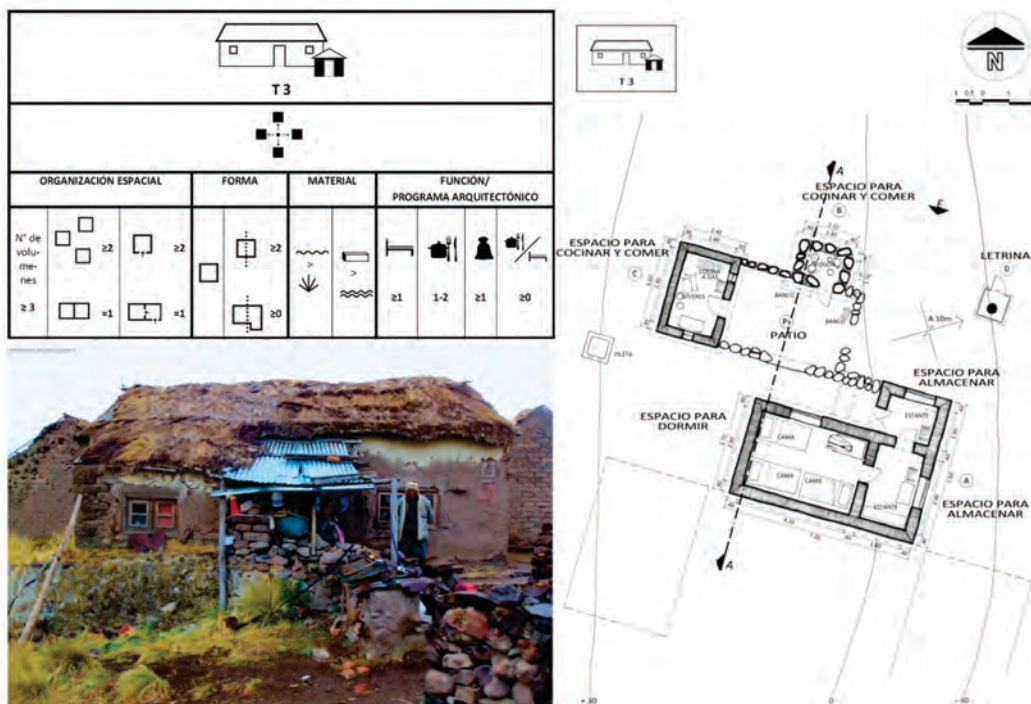


Fig.9- Características del tipo tradicional en transición a contemporáneo.

4. CONCLUSIONES

Esta investigación logra evidenciar cómo son las viviendas en la actualidad y qué estrategias de adaptación utilizan, ya que las formas de habitar son diversas en distintos escenarios y están condicionadas por la cosmovisión, los valores, ideales, estilo de vida, las expectativas de los usuarios y los materiales constructivos disponibles. Es necesario el desarrollo de proyectos de investigación de este tipo, ya que estos estudios permitirían aportar conocimientos para tomar decisiones con conocimiento de causa al momento de intervenir en estas comunidades y tener mayores referentes.

La concepción de la vivienda alpaquera altoandina está en transición, pues los usuarios, condicionados por su capacidad económica, no se sienten satisfechos y siguen experimentando a fin de conseguir una arquitectura que responda de manera más eficiente a su estilo de vida y los proteja de las condiciones climáticas imperantes. A esto se suma que se vienen ejecutando intervenciones arquitectónicas que proyectan una modernidad enajenada, lo cual influye en los ideales de los pobladores, llevándolos a emplear materiales constructivos foráneos que no son adecuados para su contexto. (Fig.10)



Fig.10-Vivienda de ladrillo y concreto en la comunidad rural Choroma.

Considerando que las viviendas alpaqueras altoandinas se encuentran vulnerables cultural, política y ambientalmente debido al cambio climático; deben plantearse soluciones sustentadas en la resiliencia para garantizar mayores capacidades de sobrevivencia ante una situación de crisis.

En este contexto la tierra está subvalorada como material constructivo, pues es asociada con pobreza y vulnerabilidad. Para revertir esto es indispensable realizar investigaciones que desarrollen y difundan normas que garanticen la calidad constructiva y el confort térmico. En tiempos de globalización acelerada donde es común el uso de materiales con elevada energía incorporada, la tierra se presenta como un material sostenible en lo ambiental, social y económico; por tanto existen motivos más que suficientes para reivindicar la sencillez y propiedades de la tierra. La capacitación a los profesionales y pobladores sobre las bondades de este material es indispensable para poder revalorar este tipo de edificaciones.

Finalmente se destaca que, todos tenemos derecho a una vivienda digna y es fundamental redescubrir las culturas constructivas ancestrales. Por ello se deben validar las estrategias que se utilizan actualmente, complementarlas con nuevos conocimientos teóricos y aplicar un proceso de ejecución participativo empleando la mano de obra local, para promover la continuidad cultural y el desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- Bazant, J. (1978). *Tipología de vivienda urbana: Análisis físico de contextos urbanos-habitacionales de la población de bajos ingresos en la ciudad de México*. Editorial Diana, México DF.
- Burga Bartra, J. (2010). *Arquitectura vernácula peruana: Un análisis tipológico* (Primera ed.). Colegio de Arquitectos del Perú, Lima.
- Caniggia, G.; Mafferi, G. (1995). *Tipología de la edificación: Estructura del espacio antrópico*. (M. García, Trad.) Celeste ediciones, Madrid.
- Flores, J. (Comp.). (1977). *Pastores de Puna: uywamichiqpunarunakuna*. IEP ediciones, Lima.
- Mayer, E. (2004). *Casa, chacra y dinero: economías domésticas en los Andes*. IEP ediciones, Lima.
- Milla, C. (1983). *Génesis de la Cultura Andina*. Colegio de Arquitectos de Perú, Lima.
- Muntañola, J. (2001). *La arquitectura como lugar*. Alfaomega, México DF.
- Norberg-Schulz, C. (1975). *Existencia, Espacio y Arquitectura*. (A. Margaret, Trad.) Editorial Blume, Barcelona.
- Rapoport, A. (2003). *Cultura, arquitectura y diseño*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

AUTORES

Magaly del Pilar Gayoso Carranza. Arquitecta por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú, 2012. Profesional dedicada a la investigación y al desarrollo de proyectos con énfasis en la promoción de culturas locales y sostenibilidad. Colaboradora en proyectos de Bio-Construcción. Participación en congresos académicos en América Latina.

Orlando Carlos Pacheco Zúñiga. Arquitecto por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú, 2012. Profesional dedicado a la investigación y experimentación de arquitectura en tierra cruda participando en numerosos talleres de formación. Voluntariado en proyectos de restauración de patrimonio edificado. Participación en congresos académicos en América Latina.



Tombouctou et la résilience post crise 2012

Klessigué Abdoulaye SANOGO, Alpha DIOP

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RÉSUMÉ

L'objectif général du présent article est de présenter les conditions favorables à la résilience des individus, des communautés et des institutions pour une réappropriation du patrimoine culturel détruit ou prohibé à Tombouctou pendant l'occupation de la ville par les terroristes.

Les objectifs spécifiques sont :

- identifier des activités visant à façonner des individus et des communautés résilientes capables de régénérer le patrimoine culturel ;
- poser les bases d'une stratégie de communication visant la transmission des valeurs du bien Tombouctou.

Le processus de rédaction de l'article s'est déroulé en trois (3) phases : la revue documentaire ; la consultation à distance et les entretiens sur place ; les visites de terrain.

Cette méthodologie a permis de faire :

- l'analyse de la situation de la valeur universelle exceptionnelle de Tombouctou ;
- l'évaluation des risques pesant sur ladite valeur universelle exceptionnelle ;
- les réponses aux risques ;
- les mesures de résilience.

Tombouctou, ville résistante et résiliente, fait face à une situation de crise dans la conservation de son patrimoine qui est aussi celui de l'humanité. La vigilance et l'appui des partenaires techniques et financiers sont encore nécessaires pour donner à la ville son lustre d'antan.

INTRODUCTION

Les communautés, les groupes, au cas échéant les individus, sont parfois confrontés à des situations critiques suite à des événements inattendus bouleversant leur système organisationnel, affectant leurs valeurs éthiques, allant parfois au risque d'anomie. Tombouctou a frôlé une situation analogue lors de la crise politico-militaire et sécuritaire de 2012. Les assaillants y détruisent quatorze (14) mausolées inscrits sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO et classés dans le patrimoine culturel national, interdisent les pratiques sociales, brûlent près de 4203 manuscrits anciens.

Un sursaut national et international permet de mettre fin à l'occupation en 2013.

Tombouctou libérée, les communautés, soutenues par les autorités locales, nationales et internationales, reprirent avec enthousiasme les pratiques ancestrales : chants et danses de corporation, crépissage des mosquées, célébration du Maouloud.¹

Un plan de reconstruction des mausolées détruits est conçu et mis en œuvre.

Cependant, certaines questions restent posées.

Que faire pour que Tombouctou retrouve son lustre d'ancienne cité universitaire et centre d'expansion de l'Islam en Afrique, dont témoignent les prestigieuses mosquées de Djingareyber, Sankoré et Sidi Yahia ?

Comment réimprimer dans les cœurs la charge émotionnelle liée aux mausolées de Saints, valant à la ville son label de cité des 333 Saints ?

¹ Anniversaire de la naissance et du baptême du Prophète Mohamed (Paix et Salut sur Lui).

Comment rétablir le rôle de Tombouctou comme mémoire du monde à travers ses manuscrits ?

Cet article, structuré en quatre (4) grands chapitres, tente d'apporter quelques réflexions pour la résolution de cette problématique post crise 2012 à Tombouctou.

Le premier chapitre apporte des éclaircissements sur l'approche conceptuelle des mots *risques*, *résilience* et accessoirement *crise*. Le deuxième expose la situation de risque à Tombouctou. Le troisième aborde les formes de résilience requise à la situation de risque. Enfin, le quatrième porte sur les mesures de résilience.

1. DÉFINITION DES CONCEPTS

1.1. Risques

Au sens de cet article, les risques comprennent tous les aléas naturels et anthropiques qui exposent le bien culturel Tombouctou à des menaces d'altération.

1.2. Résilience

Au sens de cet article, la résilience s'entend comme la « *capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposés à un danger de résister aux effets de ce danger, de les absorber et de s'y adapter, (...) de se remettre de manière rapide et efficace* ». ²

1.3. Crise

Au sens de cet article, la crise désigne un paroxysme d'incertitude et d'angoisse où l'individu, la communauté, voire les institutions, se trouvent devant une alternative : se replier sur soi et laisser le danger prendre toute la place ou, *a contrario*, exploiter sa capacité résiliente pour la surmonter et saisir l'occasion de rebondir.

2. EXPOSÉ DE LA SITUATION DE RISQUE

2.1. Rappel des valeurs de Tombouctou

Tombouctou possède des valeurs justifiant son statut de bien inscrit sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, et de nombreuses autres valeurs justifiant sa célébrité légendaire de ville mystérieuse, à découvrir absolument !

2.1.1. Valeur Universelle Exceptionnelle de Tombouctou

Située aux portes du désert et aux confins de la zone soudanaise, Tombouctou, une des villes d'Afrique dont le nom est le plus chargé d'histoire, bénéficie également, en raison de sa proximité avec le fleuve Niger, d'un site exceptionnellement propice pour les échanges entre le nord et le sud de l'Afrique occidentale. La ville connaît son apogée économique et culturel aux XVe et XVIe siècles, comme haut lieu de diffusion de la culture islamique avec l'université de Sankoré comptant 180 écoles coraniques que fréquentent 25 000 étudiants. Elle est aussi un carrefour où se négocient les manuscrits et le sel venant du nord, et où s'effectuent les ventes d'or, de bétail et de céréales provenant du sud.

Les trois grandes mosquées de Djingareyber, Sankoré et de Sidi Yahia, les mausolées de saints, les places publiques, témoignent toujours de ce passé prestigieux. ³

² Source: Ministère britannique du développement international. 2012. Defining Disaster Resilience : A DFID Approach Paper

³ Synthèse de la Valeur Universelle de Tombouctou ; intégral du texte à consulter sur le site de l'UNESCO.

2.1.2. Les autres valeurs de Tombouctou

De petit campement nomade fondé vers le XIIe siècle, Tombouctou a connu un développement spectaculaire en raison de sa position stratégique entre le Maghreb et le Soudan. Très tôt associée au commerce transsaharien, la ville devint au moyen âge un non seulement un prestigieux centre intellectuel et scientifique, mais aussi le théâtre d'un brassage culturel exceptionnel résultant de la cohabitation harmonieuse entre les Berbères, les Maures, les Soninké, les Songhoy, les Bambara et les Bozo.

Proluxe dans la production de manuscrits à caractère « littéraire », « documentaire », et scientifique, et bénéficiant d'une abondante littérature de voyage plutôt enthousiaste publiée par les chroniqueurs, Tombouctou suscitera un « *irrépressible mouvement de curiosité* »⁴. La ville sainte abritera par la suite, un nombre impressionnant de mausolées de Saints et doctes en sciences théologiques ayant exercé comme professeurs à l'Université de Sankoré. Ces savants ont transmis pour *l'éternité*, un nombre impressionnant de manuscrits anciens.

La vie culturelle de Tombouctou était dominée par les traditions d'entretien des mosquées, les fêtes religieuses, les danses de corporations, la gastronomie, et l'artisanat. Sur les chantiers ou en atelier, maçons, bouchers, menuisiers et charpentiers, tailleurs et tisserands, orfèvres et autres travailleurs des métaux, cordonniers et maroquiniers, copistes de manuscrits, faisaient preuve de prouesse et d'habileté manuelle pour satisfaire la clientèle et la curiosité des visiteurs.

Tombouctou était enfin la ville des contes jolis, des légendes, telle la fable d'El Farouk, génie protecteur de la ville, vu sous la forme d'un homme tout de blanc vêtu, le visage voilé d'un litham, enfourchant un cheval blanc et qui, aux heures tardives, assurait la sécurité des personnes et des biens.

2.2. Évaluation des risques du bien Tombouctou

2.2.1. Risques sur la Valeur Universelle Exceptionnelle

Le bien culturel Tombouctou, inscrit sur la Liste du patrimoine culturel de l'UNESCO comprend les 3 (trois) célèbres mosquées (Djingareyber, Sankoré, Sidi Yahia) et (16) seize mausolées de Saints. Pendant la crise, la plupart de ces éléments sont partis du risque à la destruction, mettant en cause l'intégrité du bien. Malgré la résolution de la crise et la reconstruction du patrimoine détruit, les risques sur la Valeur Universelle Exceptionnelle de Tombouctou se posent en termes de sécurité des monuments face aux éventuels sursauts des guerres de rébellion, au terrorisme et à la montée de l'intégrisme religieux.

Tombouctou a été, et est encore concernée par les guerres de rébellions armées provoquant à chaque fois, la panique et l'incertitude chez les communautés freinant toute activité de conservation de leur héritage culturel, matériel et immatériel.

De manière générale, le terrorisme « *vise à infliger des blessures spectaculaires et mortelles à des civils et à créer un climat de peur, généralement à des fins politiques ou idéologiques...* »⁵ Il concerne « *des lieux particuliers, des biens et des pratiques spécifiques* »⁶ liées à la manifestation de leur identité culturelle. À titre d'exemples : tôt, au matin du vendredi 4 mai 2012, les fidèles voulant exécuter leur prière hebdomadaire du vendredi Saint au Mausolée Sidi Mahamoud, en ont été empêchés par des extrémistes du

⁴ Jacques Chevrier, N° 153, janvier – mars 2004, p. 74

⁵ Olivier Dehoorne, *Tourisme international et risques terroristes De nouveaux enjeux pour les pays du Sud*, in Gilbert David, 2004, p.321

⁶ Olivier Dehoorne, *Tourisme international et risques terroristes De nouveaux enjeux pour les pays du Sud*, in Gilbert David, 2004, p.326

groupe « Ansardine ». Devant la riposte de certains fidèles, les extrémistes ont arraché les volets (portes et fenêtres) du mausolée, et brûlé la moustiquaire pieusement mise là pour protéger la sépulture du Saint. Cette profanation du Mausolée de cet érudit marquait une grave atteinte à l'âme de la cité sainte. Auparavant, les mêmes extrémistes avaient vandalisé le Mausolée de Cheick Mouhamed Tamba-Tamba. Suivront en juillet 2012 le saccage d'autres monuments et l'interdiction des pratiques culturelles de socialisation et de manifestation de l'identité culturelles des communautés.

La montée de l'intégrisme religieux au Mali est marquée par « *la prolifération de tendances confrériques et mouvements confessionnels divergents, la multiplication d'associations islamiques (...) inféodées à des intérêts étrangers, l'incursion croissante des prêcheurs dans les médias de communication de masse, la fréquence du discours intégriste et/ou fondamentaliste, l'engouement grandissant d'une large frange de la jeunesse pour la religion et l'irruption des femmes sur la scène publique islamique* »⁷. Cet enthousiasme pour la religion pose de nombreux problèmes de sécurité. Tombouctou n'échappe pas complètement à la règle.

2.2.2. Risques liés au changement climatique

Tombouctou, ville sahélo-saharienne, a souffert et souffre encore des conséquences des sécheresses successives dont les conséquences sont la désertification, résultat direct des aléas climatiques, et la désertisation due aux actions conjuguées de l'homme et de la nature. De 1998 à nos jours, les différents chantiers de restauration des mosquées ont révélé les conséquences de l'ensablement provoqué par les tempêtes de vent. La formule utilisée par ICOMOS en mai 1988 reste d'actualité : « *Les dunes vives menacent Tombouctou comme les eaux avaient menacé d'engloutir Abou Simbel* »⁸. La mosquée Sankoré, entièrement dégagée des sables en 1952, est encore fréquemment menacée d'ensevelissement. Il en est de même pour les autres édifices de la ville. L'avancée du désert est évaluée à environ 20 cm par an.⁹

2.2.3. Risques de perte identitaire

Les événements de 2012 ont provoqué des risques de perte identitaire traduits l'interdiction des activités socioculturelles et religieuses considérées par les occupants comme sataniques ou païennes. Pendant l'occupation, Tombouctou, ville sainte, s'est vue interdire, les prières surrogatoires collectives, les chants des nuits de Ramadan, les panégyriques à la gloire du Prophète (PSL), la célébration de la fête de l'Achoura, nouvel an musulman et les *Ziaara*. Étaient également prohibées les chants et danses des corporations, ébranlant les traditions de socialisation et le "vivre ensemble"¹⁰.

Les interdictions de vivre leur culture, y compris la culture islamique, ont été les pires conséquences de la crise de 2012. Elles ont blessé les communautés dans leur identité et leur âme.

2.2.4. Risques sur l'artisanat et le tourisme

Au plan économique, Tombouctou a été abandonnée par les touristes pendant la crise, compromettant les bénéfices liés à l'artisanat et au tourisme. La crise sonnait presque le glas à l'artisanat déjà menacé par les mutations sociales éloignant les générations montantes des ateliers traditionnels. Or, ces ateliers étaient autrefois considérés comme

⁷ Mamadou Diallo, 2001, cité par ZeïniMoulaye, 2005, p.p. 61-62.

⁸ Dossier d'évaluation de Tombouctou par le Conseil International des Monuments et des Sites, ICOMOS, mai 1988.

⁹ Ministère de la Culture, *Plan de conservation et de gestion de Tombouctou – Mali, 2006 – 2010* p. 73.

¹⁰ Citons entre autres danses de corporation : *abarbarba*, danse des bouchers ; *belle idjé*, danse des exploitants des mines de sel ; *challo*, danse des KelTamacheq ; *dinba*, danse des maçons ; *djindjé*, danse des ressortissants d'Araouane ; *hala*, danse des cultivateurs ; *m'bagá*, danse féminine de la médina de Tombouctou.

des sanctuaires dans lesquels le maître relayait les techniques d'habileté manuelle et les connaissances secrètes liées aux matériaux.

Par ailleurs, certaines considérations voudraient que certains métiers d'arts soient des activités d'hommes de caste. Contre et à l'envers de ces considérations, en raison de son importance dans le développement économique, le secteur de l'artisanat et du tourisme est régi par la Loi 95 – 029 du 20 mars 1995 portant code de l'artisanat au Mali. Selon l'article 18 de cette loi, les activités artisanales sont classées en sept (7) catégories de métiers au nombre desquels figurent ceux de l'alimentation, du bâtiment, de l'ameublement, de la transformation des métaux, de l'habillement, du cuir et du textile. Tombouctou excelle dans cette dernière catégorie avec la tapisserie au point, en particulier dans la broderie décorative à la main qui peut être apprise et pratiquée par toute personne désirant s'exprimer à travers cet art.

La crise affectait également le "Label Tombouctou" dans ses aspects : nature, culture, mystère, compromettait toutes les opportunités Jumelage et de coopération touristique avec le Sénégal et la Guinée, mettait en veille prolongée les Vols charters.

2.2.5. Risques pesant sur les musées

Une partie de la mémoire collective des Régions du nord, conservée dans les musées de Tombouctou, a été gravement éprouvée par les aléas d'ordre anthropique et naturel.

La ville abrite trois musées : le Musée Arsène Globb¹¹, le Musée Municipal et le Musée Al Mansour Korey. Une mission d'évaluation de ces trois institutions patrimoniales qui s'est déroulée du 12 au 15 mai 2013, a permis de dresser un constat de détresse suite au vandalisme des terroristes sur les bâtiments et les objets dont certains ont été pillés.

Les bâtiments abritant les collections ont été mis dans un état de dégradation aggravé par les fissures en plusieurs endroits des murs et l'effondrement de la toiture dans certains cas.

Les objets restés dans ces bâtiments presque en ruines, ont été détruits, en particulier ceux inspirés de représentations humaines comme les figurines et les mannequins, ou pillés.

2.2.6. Risques sur les manuscrits

Tombouctou se singularise par l'abondance des manuscrits anciens, écrits, copiés ou acquis sur des marchés d'Afrique du Nord par des pèlerins. Environ 40 000 manuscrits, allant du simple feuillet aux volumes richement calligraphiés et enluminés de plus de 500 pages, sont conservés à l'Institut des Hautes Études et de Recherches Islamiques Ahmed Baba de Tombouctou (IHERIAB) et dans un réseau de bibliothèques privées. Toutefois, les vellétés d'accaparement, de vol et de pillages visent encore les manuscrits.

3. LES RÉPONSES AUX RISQUES

Les réponses aux risques devraient contribuer à maintenir les éléments constitutifs du bien culturel Tombouctou en bon état. Elles pourraient consister à concevoir et mettre en œuvre plusieurs nouveaux projets et programmes de protection, de conservation, de mise

¹¹ Le Musée Arsène Globb est ainsi nommé d'après le lieutenant Arsène Globb de l'armée coloniale française, est également appelé « le Musée Chrétien ». Source : Rapport final des mesures d'urgence concernant les collections des musées du Mali dans le cadre d'une assistance financière du Comité du Deuxième Protocole

en valeur et de promotion du bien culturel Tombouctou, sans oublier la revitalisation du patrimoine culturel immatériel et la valorisation des manuscrits.

3.1. Protection

En matière de protection du bien culturel Tombouctou, les mesures suivantes sont envisagées :

- renforcer les compétences locales, notamment les savoirs et savoir – faire des artisans et des corporations des maçons proclamées Trésors Humains Vivants du Mali en 2008 ;
- développer des équipements, des techniques, et des stratégies en matière de prévention et d'atténuation des risques pour les mausolées.

3.2. Promotion

Dans le domaine de la promotion, les mesures suivantes sont préconisées :

- développer, avec le soutien des médias, une culture du risque consistant à encourager la conversation de la mémoire collective, le maintien et la transmission des connaissances locales, la formalisation des savoirs vernaculaires et empiriques en matière de prévention des risques ;
- élaborer un nouveau discours d'interprétation de Tombouctou la mystérieuse, site du patrimoine mondial de l'UNESCO ;
- concevoir et mettre en œuvre, en étroite collaboration avec les communautés, un projet de tourisme culturel et religieux dans une approche intégrée des mosquées et des mausolées ;

3.3. Conservation et mise en valeur

La conservation et la mise en valeur implique les mesures ci-après :

- procéder à une « *démarche de gestion, d'aménagement, de réhabilitation (et) d'organisation de l'accueil des visiteurs* »¹² ;
- concevoir des outils de promotion visant à faire découvrir ou redécouvrir, comprendre et aimer davantage Tombouctou : signalétique, panneaux à caractère pédagogique, dépliants, visites audioguidées, montages audiovisuels, reconstitution et mise en scène de pratiques sociales et culturelles ;
- rétablir « *l'esprit des lieux* »¹³ de Tombouctou, *i.e.* les impressions et les émotions liées à la qualité des valeurs culturelles et sociales intériorisées du bien Tombouctou ;
- revitaliser les pratiques culturelles autour des mosquées et des mausolées reconstruits ;

3.4. Revitalisation du patrimoine culturel immatériel

La revitalisation du patrimoine culturel immatériel proscrit pendant la crise appelle les mesures suivantes :

- identifier les personnes ressources détentrices de savoirs et savoir-faire ;
- concevoir et mettre en œuvre un programme d'éducation au patrimoine à l'intention des jeunes;

¹² Jean-Pierre Thibault, 2009, p. 31

¹³ Insaisissable par définition, l'esprit d'un lieu existe pourtant : il imprègne le visiteur, perdure dans son souvenir, « qu'il s'agisse d'un "morceau de nature", d'un ensemble urbain ou d'un monument dans son environnement... ». cf. Jean-Pierre Thibault, 2009, p. 31.

- créer les conditions de réappropriation et de transmission du patrimoine culturel matériel et immatériel ainsi que les savoir-faire liés à l'artisanat à travers la création de centres d'apprentissage, l'organisation de fora et de manifestations démonstratives, la réalisation d'émissions audiovisuelles et de publications écrites ;
- collecter, transcrire et traduire les traditions orales de Tombouctou
- inscrire les éléments menacés de perte irréversible sur la Liste du patrimoine immatériel nécessitant une sauvegarde urgente de l'UNESCO.

3.5. Revitalisation de l'artisanat et du tourisme

La revitalisation de l'artisanat et du tourisme pourrait impliquer les mesures ci-après :

- rétablir le "Label Tombouctou" « culture, nature, mythes » à travers des circuits touristiques appropriés ;
- valoriser la broderie décorative à la main à travers la création de marchés et des publications scientifiques sur ce métier de l'artisanat
- créer plusieurs parcours touristiques :
 - o le parcours historique comportant les maisons des explorateurs (Gordon Laing, René Caillié, Berky, Heinrich Barth, Oscar Lenz, etc.), les lieux de mémoire, les sites historiques et les bibliothèques de manuscrits ;
 - o le parcours religieux portant sur les mosquées et les mausolées, régi par des normes de comportement ;
 - o le parcours portant sur les attraits particuliers (Maison des artisans, Institut des Hautes Études et de Recherches-Ahmed Baba, atelier Diam Tendé, etc.).

3.6. Valorisation de manuscrits

Il importe de renforcer la protection et la promotion des manuscrits anciens par les actions ci-après :

- réhabiliter les bibliothèques publiques privées abritant des manuscrits ;
- poursuivre l'inventaire et la numérisation en vue de leur exploitation à des fins de recherches et de publication ;
- engager une lutte contre le trafic illicite des manuscrits.

3.7. Environnement et changement climatique

Dans le cadre de la protection de l'environnement et de la lutte contre le changement climatique, les mesures suivantes sont proposées :

- réaliser de nouvelles armatures vertes dans la ville pour atténuer de façon significative l'avancée du désert et assurer la fixation des dunes ;
- réaliser de nouvelles décharges d'ordures contrôlées.

3.8. Sécurisation et promotion des musées

La sécurisation et la promotion des musées exige la conception et la mise en œuvre d'un plan d'urgence consistant à :

- réhabiliter les locaux détruits ;
- remettre en état les collections ;
- rétablir ou mettre en place les systèmes d'information sur les collections ;

- installer des dispositifs sur les portes et fenêtres pour empêcher la réverbération de la lumière, la pénétration de la poussière et des insectes ;
- acquérir du matériel pour les réserves et les salles d'exposition ;
- renforcer les capacités du personnel en conservation préventive.

4. MESURES DE RÉSILIENCE

Les mesures pour parvenir à la résilience des individus, des communautés et des institutions, devraient procéder de la vision et de l'image de Tombouctou, la cité mystérieuse.

Dans les limites de cet article, la vision permet de définir les orientations devant guider les activités de conservation, principalement vers quoi les parties prenantes voudraient aller en la matière, mais aussi comment elles souhaiteraient s'y prendre selon les règles éthiques et les partenariats requis.

Quant à l'image, elle a trait à la représentation emblématique et la réputation de Tombouctou distillées par les explorateurs et autres visiteurs depuis la nuit des temps. L'image de marque de Tombouctou se traduit par un fort pouvoir d'évocation donné à la cité par ceux qui l'ont connue à ses heures de gloire.

4.1. Vision

La vision de Tombouctou ci-dessous, a été formulée sous une combinaison de descriptions imagées portant sur l'aspect physique l'usage du site et le fonctionnement du site.

Le rêve du *Tombouctien* est de voir, à long terme, en Tombouctou :

- « *une ville gardant son label de cité mystérieuse et qui continuera de fasciner ses visiteurs au 21^e siècle comme elle a attiré ceux du Moyen Age ;*
- *une ville offrant aux touristes nationaux et internationaux une desserte adéquate ;*
- *une ville sainte, véhiculant un savoir d'érudit grâce aux bibliothèques de manuscrits, mais aussi la ville arc-en-ciel, répétant comme par le passé, dans un esprit de dialogues des croyances, que Dieu est incommensurable ;*
- *une ville authentique gardant son originalité architecturale, ses pratiques culturelles et religieuses, ses traditions orales, ses corps de métier ;*
- *une ville retrouvant sa splendeur naturelle : ses dunes, son quai, sa mare, sa nappe phréatique ;*
- *une ville historique relayant, de ses pavés restaurés, de ses grandes mosquées sans cesse ressuscitées, de ses places et placettes, les faits passés au lever et au coucher de soleil ;*
- *une ville ayant sa part de modernité à travers des infrastructures et des équipements compatibles racontant encore l'histoire de Bouctou à Tombouctou »¹⁴.*

4.2. Image

Tombouctou, ville aux nombreux sobriquets, tantôt surnommée Tombouctou la « *mystérieuse* »¹⁵, tantôt « *la Cité des 333 saints* », « *la reine du Soudan* »¹⁶, « *l'Athènes*

¹⁴ Ministère de la Culture, *Plan de conservation et de gestion de Tombouctou pour la période 2006 – 2010*, p. 86

¹⁵ Félix Dubois, 1897, cité in Agetiye-Mali, *Études Techniques du PRS de la Vieille Ville de Tombouctou, Phase 2: « Stratégie de revitalisation » Rapport Final Provisoire - Volume principal « Stratégie de Revitalisation »*, février 2005, p. 49

¹⁶ Alain Quella-Villéger, 2012, p. 101

de l'Afrique »¹⁷, « ...la ville exquise, délicieuse et illustre, la cité bénie, plantureuse et animée »¹⁸, la ville poreuse à tout vent, « à la fois un mythe, une énigme et un enjeu »¹⁹, Tombouctou donc, a su bâtir une civilisation de sagesse issue des circonstances glorieuses de son histoire. Les échanges entre le Maghreb et le Soudan sous l'Empire du Mali au XIV^e siècle, puis au XV^e siècle, sous l'Empire Songhoï, enfin au XVI^e siècle sous l'occupation marocaine en 1591, lui ont permis de jouer les rôles de carrefour commercial.

Sankoré la mosquée universitaire, accueillait les étudiants en provenance du Soudan (Djenné, Agadès, Oualata) et du monde méditerranéen (Fès, Marrakech, le Caire). Djingareyber et Sidi Yéhia ne sont pas en marge de cet épanouissement intellectuel et spirituel de la ville. Aujourd'hui encore, Tombouctou continue de fasciner le monde par ses ruelles de sable, ses couleurs ocres, ses mosquées qui rappellent aux fidèles les heures de la prière, ses manuscrits en caractères arabes relatant les faits sociaux et les sciences.

4.3. Résilience des individus

Face à la situation de crise et de traumatisme décrite ci-haut, le *tombouctien* doit avoir l'estime de soi, maîtriser ses émotions et anticiper sur des crises analogues. Ce comportement qui pourrait éveiller les croyances, les valeurs et le sens donné à la blessure, permettra de planifier et de mettre en place avec des animateurs pluridisciplinaires, des stratégies au plan cognitif et comportemental pour « échapper à l'invasion de toutes les sphères de son existence (...) par l'expérience douloureuse ».²⁰

4.4. Résilience des communautés

« Les communautés résilientes partagent souvent une caractéristique commune: celle de disposer d'un capital physique et social, ainsi que de connaissances techniques suffisantes pour être capables d'innover et de réagir de manière flexible en cas de choc. »²¹ Il en a toujours été ainsi pour Tombouctou qui, en changeant plusieurs fois plusieurs fois de maîtres au cours de son histoire, a su, à chaque fois, assimiler les courants de pensée, les influences extérieures, en gardant sa personnalité à travers les siècles et les bouleversements.²² Pendant la crise, elle a su résister aux terroristes chaque fois qu'il le fallait dans l'expression de la foi en Dieu. Les capacités résilientes se sont également manifestées dans la ville avec le « réseau social », entendez les groupes d'amis, les voisins, les collègues de travail et l'entraide au sein de la communauté. Tombouctou, dans sa quiétude ou face à l'épreuve, reste et demeure une cité bienveillante toujours prête à se reconstruire.

Il importe donc de revisiter, avec cette ville atypique, ses qualités résilientes *i.e.* la façon dont elle a surmonté les épreuves passées. Cela se faisant, place devrait être faite à un

¹⁷ Agetipe-Mali, Études Techniques du PRS de la Vieille Ville de Tombouctou, Phase 2: « Stratégie de revitalisation » Rapport Final Provisoire - Volume principal « Stratégie de Revitalisation », février 2005, p.47

¹⁸ Agetipe – Mali, inypsa « Études techniques du plan de revitalisation de la vieille ville de Tombouctou, phase 2 : Stratégie de revitalisation, Rapport final provisoire », Volume annexe N° 1, février 2005, p. 3

¹⁹ Alain Quella-Villéger, 2012, p. 99

²⁰ Lire Claudia Samson, *Notes de lecture – La résilience*, article en ligne, consulté le 24 août 2015

²¹ *La résilience des individus, des ménages, des communautés et des institutions dans les situations de crise prolongée*, consulté le 21 août 2015 sur le site : http://www.fao.org/fileadmin/templates/cfs_high_level_forum/documents/ME523F_CFS_39_HLEF_Brief3_01.pdf,

²² Tombouctou a, au cours d'une histoire très mouvementée faite de hauts et de bas, changé plusieurs fois de maîtres. Elle fut successivement sous la domination mandingue (1275 – 1433), tamasheq (1433 – 1438), songhoï (1468 – 1591), marocaine (1591 - 1780), de nouveau tamasheq (1780-1826), peulh (1826 – 1862), toucouleur (1862- 1863), kounta et tamasheq (1863- 1893), française (1893- 1960). Tombouctou a subi des pillages des souverains mossis aux XIV^e et XV^e siècles.

programme d'animation sociale à caractère multifonctionnel destiné à susciter la communication au sein des communautés. Il s'agira de mettre en contact les groupes sociaux à travers des rencontres d'échanges sur leur vécu pendant la crise, leur perception de la même crise qui se prolonge et le besoin de la diffusion de la culture *tombouctienne*. Un tel programme pourrait se dérouler sur les places et placettes de Tombouctou. Il constituera un champ de libération des tensions et des frustrations.

4.5. Résilience des institutions

4.5.1. La reconstruction/réhabilitation du patrimoine détruit

Face à la destruction du patrimoine classé, le Ministère de la Culture, de l'Artisanat et du Tourisme, à travers ses services techniques nationaux, régionaux et locaux, a mis en place un programme de reconstruction à l'identique des mausolées. Cette option a été réalisée, d'abord sur la base d'une collecte d'informations auprès des communautés et dans des documents relatifs aux mausolées, ensuite avec l'accord des familles propriétaires des mausolées. Il a été convenu d'informer et d'associer les imams des mosquées, les communautés et les corporations de maçons aux travaux de construction.

Les travaux ont été exécutés sous la supervision des *maçons traditionnels* à qui il a été conseillé d'envisager la réutilisation de matériaux récupérables pour assurer la traçabilité du fait historique de la destruction sur les mausolées. Les rites, offrandes et sacrifices traditionnels n'ont pas été épargnés.

4.5.2. La solidarité gouvernementale

Dans leurs domaines de compétence, divers départements ministériels, notamment les ministères en charge de la culture, de la solidarité et de la reconstruction du nord, sans oublier les élus régionaux et locaux, ont cherché à trouver, le plus vite possible, des réponses humanitaires à la crise. Au nombre des réponses préconisées, figurent les projets de réhabilitation et de revitalisation du patrimoine culturel détruit ou prohibé, la recherche de fonds et les actions ponctuelles de charité pour soutenir les actions de la société civile, en particuliers les groupements de femmes et de jeunes.

4.5.3. La mobilisation de la communauté internationale

Au plan international, les partenaires techniques et financiers, les partenaires humanitaires dont les (ONGs et agences des Nations Unies), se sont mobilisés pour apporter au pays une assistance multidimensionnelle, notamment dans les domaines ci-après :

- appui conseil pour l'application des normes professionnelles dans la reconstruction du patrimoine détruit tenant compte de la turbulence de l'environnement;
- mise en place de projets résilients avec la société civile dans le domaine de l'éducation;
- soutien à la relance des activités productives et de célébrations.

5. ACTIONS DE RÉSILIENCE MENÉES, RÉSULTATS ET ÉCUEILS

Le Mali a bénéficié, pendant et après la crise, d'un appui de la communauté internationale pour le financement d'activités de sécurisation des sites archéologiques, des monuments ainsi que des musées régionaux et communautaires situés dans les régions occupées, notamment Tombouctou, Gao, Kidal et une partie de la Région de Mopti. Il a aussi bénéficié d'actions de la communauté humanitaire visant à donner une réponse aux besoins des populations vulnérables de Tombouctou. Les priorités d'actions ont concerné les questions de sécurité et d'accès aux zones occupées, d'assistance aux familles

déplacées, d'atténuation des tensions intercommunautaires à travers des programmes de sensibilisation des masses sur la cohésion sociale. Toutefois, les réponses à la crise ause devraient de s'ouvrir à la reconstruction des individus, des groupes et des communautés.

Cependant, pour permettre aux communautés et aux individus de résister aux chocs, de se reconstruire et de rebondir en se réappropriant et en vivant le patrimoine à Tombouctou, certaines actions sont requises :

- la reconnaissance des besoins, des capacités et des aspirations spécifiques des groupes sociaux (érudits, corporations des maçons, artistes et artisans) et les réponses nécessaires ;
- le maintien de la participation des communautés dans les activités destinées à faire face aux conflits et à l'insécurité, y compris l'usage des pratiques et connaissances traditionnelles pour la consolidation de la paix ;
- la diversification des actions de protection des mosquées et des mausolées en réponse aux chocs subits et potentiels, par la mise en place de systèmes de surveillance et de dispositifs de sécurité, y compris par anticipation suivant l'air du temps.
- la codification de l'accès aux mosquées et aux mausolées par un système de zonage et d'épreuves ;
- la conception et la mise en œuvre de rencontres de *catharsis* sociale.

Les actions futures pour la mise en œuvre de la vision et le rétablissement de l'image de marque de Tombouctou pourraient consister à mettre en valeur :

- les routes et itinéraires historiques ;
- les paysages culturels (revitalisation du canal Tombouctou –Kabara) ;
- la restauration des rencontres de « *reliance* » sociale sur les places et placettes.

EN GUISE DE CONCLUSION

Les réponses aux risques et les mesures de résilience assorties d'activités, loin de faire force de loi, ne constituent qu'une modeste contribution dans les réflexions en cours pour une relance intégrale de Tombouctou tant rêvée, adulée et soutenue par le Mali et la communauté internationale.

Au demeurant, nous sommes convaincus que, mises en œuvre, certaines de ces mesures qui paraissent relever du rêve, pourraient, si elles sont mises en œuvre, conduire une bonne partie des communautés de Tombouctou à revivre leur patrimoine.

Illustrations





Bibliographie sommaire

Alain Quella-Villéger. (2012). *René Caillié l'africain, Une vie d'explorateur (1799-1838)*, Éditions Auberon, 340 p.

Ali Ould Sidi. (2008). *Le patrimoine culturel de Tombouctou, enjeux et perspectives*, ImprimColor, 144 p.

Daniel Trachsler. (2009). *Politique de sécurité : analyses du CSS*, N° 60, p 3

Gilbert David, IRD. (2014). *Espaces tropicaux et risques, du global au local*, Actes des Xe journées de géographie des 24, 25 et 26 septembre 2003, Collection du CEDPTE, Orléans, 244 p.

Jacques Chevrier. (2004) *Tombouctou, la cité mystérieuse : du mythe à l'utopie*, in « Notre librairie, Revue des littéraires du Sud », N° 153.

Jean-Pierre Thibault, (2009). *Petit Traité des Grands Sites*, Actes Sud/ ICOMOS – France, 222 p.

Mamadou Diallo. (2001.). *Étude Nationale Prospective, Mali 2025*, ImprimColor, 200 p.

Ministère de la Culture et du Tourisme. (1998). *Patrimoine culturel et créativité*, Toguna 1, Djenné, du 12 au 18 mai, 68 p.

Ministère de la Culture et du Tourisme. (1998) *Maaya, la Culture et le Tourisme au service du Développement*, Toguna 2, 82 p.

Ministère de la Culture. (2014). *Stratégie de reconstruction des Biens du Patrimoine Mondial du nord du Mali Tombouctou, Tombeau des Askia, et autres biens culturels affectés*, 89 p.

Vesna Vujicic-Lugassy et Laura Frank (2010). *Gérer les risques de catastrophes pour le patrimoine mondial*, UNESCO 2010, 73 p

Zeïni Moulaye. (2005). *Gouvernance démocratique de la sécurité au Mali*, 197 p.

Biographie

Alpha DIOP

Président d'ICOMOS MALI, Expert Invité au Conseil d'Administration d'ICOMOS International, Directeur de l'Atelier d'Architecture ALDI, Titulaire d'un Doctorat de l'Université Technique de VIENNE (Autriche), d'un Master en Architecture de l'Institut du Bâtiment d'ODESSA (Ukraine). Il a effectué en 2013 les premières études architecturales post crise du patrimoine détruit à TOMBOUCTOU.

Abdoulaye SANOGO

Arts et de la Culture, SANOGO Klessigué Abdoulaye est d'abord professeur de Lettres avant de se spécialiser dans la conservation du patrimoine culturel. Longtemps Directeur National du Patrimoine Culturel du Mali, il est, depuis mai 2013, Directeur de la Cellule de Planification et de Statistique Administrateur des.



Conciliating Tradition and Modernity in Upper Mustang

Marielle RICHON

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Abstract

Introduction: Description of the overall context, history and cultural identity of Lo Manthang and Upper Mustang, Nepal.

1. Unique cultural landscape and traditional earthen architecture: description of the state of conservation, integrity and authenticity of the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang and analysis of threats caused by modernity and climate change.
2. A quest for modernity: Misconceptions: Impact on traditional earthen architecture: example of the Medieval Earthen Walled city of Lo Manthang.
3. Awareness –raising on the values of traditional architecture and their pertinence with regard to climate change: possible solutions: identification and description.
4. Workshop organized by the Oriental Cultural Heritage Sites Protection Alliance (OCHSPA) in Kathmandu (November 2014): methodology and results. After the 2015 earthquakes: A new era.
5. Conclusion, lessons learnt and future perspectives

INTRODUCTION – OVERALL CONTEXT – HISTORY – CULTURAL IDENTITY

Overall context - Located North of Nepal in the Himalayas, Mustang includes the Kali Gandaki River Valley and has its own language, religion (Tibetan Buddhism and pagan rituals) and tradition. High mountains and a harsh climate produce a semi-arid and spectacular landscape. Close to Tibet (China) the capital Lo Manthang remained isolated until recently as a track allows today trucks to deliver goods which impact its lifestyle. Its population migrates South during winter to sell handicrafts, Tibetan medicines or to study. A significant number of inhabitants emigrate to the USA or the Arab Gulf. They rarely return home thus depriving the community from its youth and threatening the transmission of ancestral traditions.

History - Numerous caves attest human occupation since 2,800 B.C. Buddhism spread from Tibet from the 7th century A.C. Mustang became part of the Tibetan Kingdom until 1440, thereafter in dependent with Lo Manthang as its capital. In 1790 the Lo Kingdom was integrated into the Kingdom of Nepal. The king of Mustang, no longer the sovereign continues to be influential. In 1960, after the Chinese occupation of Tibet, China and Nepal signed an agreement closing the border between Tibet and Mustang. Tibetan fighters moved to Mustang to find shelter thus it was decided to close Mustang which remained isolated until 1992 when the government decided to give access to tourists by means of an expensive permit.

Cultural identity – The cultural identity of Mustang consists in its capacity to live with harsh conditions, in a grandiose and spiritual environment where religion is inscribed through carved rocks, *chortens* and prayer flags. Mustang is a unique survivor of an authentic Tibetan Buddhism expression. It keeps its secret and initiatory atmosphere. However while youth is strongly attracted to modernity it is also deeply enrooted in living intangible cultural heritage traditions.

1. UNIQUE CULTURAL LANDSCAPE AND TRADITIONAL EARTHEN ARCHITECTURE

In 2008, Lo Manthang founded in the 15th century A.D., with its medieval palace and monasteries (two from the 15th and one from the 18th century A.D.) was inscribed by the Nepalese government on the Tentative List of Nepal for potential World Heritage nomination. The national recognition of its uniqueness and potential Outstanding Universal Value (OUV) as ancient Buddhist heritage thus became official. Upper Mustang is considered today as one of the last authentic testimonies of Tibetan Buddhist culture and pagan rituals (Bon-po) in a strong syncretism.

In addition to the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang it is hoped that the World Heritage nomination process will take into account a wider area of the cultural landscape surrounding it. The site could become an associative cultural landscape as ancient cave temples, carved rocks and *chortens* shape this distinctive landscape. Also, this cultural landscape was used as a trade (salt) and cultural corridor linking the Tibetan Plateau in the North with the Gangetic Plains in the South and with the Silk Roads.

1.1 Description, integrity and authenticity

This cultural landscape is a unique combination of an arid mountainous environment with ingenious irrigation systems and earthen architecture. Flat roofs covered with juniper bushes used to heat homes in the winter season, strong winds blowing daily in prayer flags, bright green barley fields fenced with pebble walls, a chromatic harmony between earthen architecture and neighboring red cliffs, all this constitutes a unique cultural landscape which deserves to be preserved and transmitted for future generations.



Fig. 1 Cultural Landscape of Upper Mustang

The walled city of Lo Manthang sits on a plateau surrounded with desert and snowy mountains. It strikes visitors after several days of trek as it appears to be almost unreal. Above the wall are the white palace and three major temples painted in red. Some fields

surround the plateau terrace as a green mosaic in the warm season. According to the Tibetan Buddhist conception, the landscape abides to a vertical hierarchy: mountains are the realm of gods while valleys host human activities. Three colors correspond to a chromatic division of space: white for gods, yellow ochre like soil and rocks of the plateau for men and blue for the under-world divinities and waters. Lo Manthang embodies all these elements and brings proof that its location was carefully selected.

1.2 State of conservation – Threats: Modernity and climate change

Until recently (1960s), the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang was intact. Since the recent construction of the sand and gravel track linking it to South and to the North (Tibetan border at 18km distance), traffic has developed considerably and modernization accelerated.

The fortified wall (*chagri*) marks symbolically and physically the limits of the city. It used to be closed at night. Also, it protects inhabitants and cattle against the harsh winter winds and cold and had a defensive role against invaders. Another role is religious as the wall draws the limit between the sacred city and the outside world, the realm of demons. The wall has also an economic dimension as it is meant to manage scarce resources for the survival of the community in extreme environmental conditions. A marker of the Lo identity the wall embodies the belonging of inhabitants to the Lo community. The *chagri* has a social role as some lower casts which are not allowed to live within the wall live below the plateau where the city is built. Structurally the wall is the limit to the city but it is also intrinsically part of some 70 civil or religious buildings associated structurally with it. Nowadays the wall is more a symbol of tradition than a defensive asset.



Fig. 2 The Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang

The wall measures 259m by 148m, it is 8,55m high and 1,5m wide at its base. It counts 13 rectangular towers including 6 angle towers called *dzong*. Towers are 10-12meters high and sometimes include doors. *Dzong* tops count parapets which are painted with red when the inside building is religious or black when a noble house is to be found behind. The wall

foundations are made of river pebbles assembled without mortar over which rammed clay is laid. The upper part of the wall is made of *pop* bricks. The wall is left in its natural color except for its limits of religious buildings which are painted in red. It includes at its top a covered way made with slate. Only monasteries and palace are higher than the *chagri*. The whole wall except in the North is surrounded by a 10m distant *mädang*(1,20m high wall), for prayers and circumambulation.



Fig.3. The Medieval Earthen Wall – Chagri

Until 1960 the wall of the city counted only one door. Over time, owners of houses built against the wall opened 27 additional doors which threaten the very structure of the wall and perturb the Buddhist circum-ambulation around it. After 1960 life was allowed outside of the wall. Physical degradations of the wall followed. In the 1990s, the Western wall of Choede Monastery collapsed to be followed by the collapse of the Eastern wall in 1999 due to a bad drainage. In 2003 another part of the wall fell. Other zones are also threatened. In 2016, a new wide opening was made by Choede Monastery to allow vehicles through.



Fig. 4. 2016 Chagri opening at Choede Monastery

Today buildings appear outside the Medieval Earthen Walled City thus threatening the view from the pass overlooking the landscape of Lo Manthang and the overall identity of the site. Trucks drive and park close to the *chagriand* may threaten its structure. In 2016 a luxury hotel built in concrete on the plateau was inaugurated. It imitates the traditional architecture although its height exceeds the traditional volume of buildings.



Fig. 5 Luxury hotel built in 2016

2- A QUEST FOR MODERNITY – MISCONCEPTIONS: IMPACT ON TRADITIONAL EARTHEN ARCHITECTURE: THE EXAMPLE OF THE MEDIEVAL EARTHEN WALLED CITY OF LO MANTHANG

To repair their dwellings, inhabitants use cement which is imported from China. Combined with earthen traditional architecture, cement is unsustainable as it deteriorates and cracks rapidly due to the difference in temperature between day and night, winter and summer. Also cement is inappropriate in terms of thermal insulation. Furthermore, the cost of cement transportation in difficult conditions along the track makes it almost a luxury good. As such it becomes a symbol social status. This sign of wealth attracts those in the Lo community who wish to show ostensibly their prosperity. Cement appears in almost every part of the city: door steps, walls, window frames, etc.

Another misconception is that what symbolizes modernity and comfort is cement or concrete. Right angles and a perfect aspect are signs of perfection and modernity. Purchasing modern building materials even at a high expense is preferred to obtaining all traditional building materials from the natural environment (juniper bushes, mud, clay, pebbles). Wood is extremely costly. Its use is limited to a minimum. However since the 2015 earthquakes new buildings tend to combine wood, pebbles, cement and polythene sheets (for waterproof roofs).

3- AWARENESS-RAISING ON THE VALUES OF TRADITIONAL ARCHITECTURE AND THEIR PERTINENCE WITH REGARD TO CLIMATE CHANGE AND MODERN COMFORT

To convince the community that cement is not the proper answer to decay as it is not adapted to climate change and seismic prone region sand does not guarantee sustainability is an ambitious endeavor which will take time. Awareness-raising appears to be a major tool to change conceptions of the Lo community. Reducing the use of cement is an issue and the transmission of local crafts and techniques a priority.

Climate change has already impacted the Himalayas. Fewer rainfalls (161mm/year), colder winters (-20°C) and milder summers (8-20°C) make life even more difficult. Strong winds blow South to North in the warm season, North to South during winter. Agriculture is the main occupation of the Lo community. Only one harvest is made under these conditions. Traditional materials are also impacted by climate change. Earthen architecture is more vulnerable to rain if it follows a dry period. Maintenance of earthen walls made of pebbles, pop bricks and clay is problematic as the population ages and diminishes due to youth emigration.

From this review, it was decided by a small non-governmental organization (NGO) named the Oriental Cultural Heritage Sites Protection Alliance (OCHSPA) to design a workshop gathering young students from Lo Manthang (*Lopa*) and students in architecture and the history of art from three major Kathmandu universities. The idea was to show the group a number of restored traditional houses in Patan, Kathmandu. These houses would be presented by their owners in order for the group to interact with them. The owners would share with students the reasons why they wished to restore their traditional houses and how they managed to implement their restoration projects. Also it would allow the group to understand the constraints, issues and benefits of restoration. Finally it would show the group that restoration techniques and motivations may vary from one house to another. Some houses are restored in an orthodox manner while others are restored differently using a combination of traditional and modern techniques.

4- WORKSHOP “ARCHITECTURAL, URBAN AND LANDSCAPE HERITAGE OF LO MANTHANG AND UPPER MUSTANG: CONCILIATING ARCHITECTURAL TRADITION AND MODERNITY”, PATAN, KATHMANDU, NEPAL – 9-15 NOVEMBER 2014. AFTER THE 2015 EARTHQUAKES: A NEW ERA

4.1 Methodology

Organized by OCHSPA this workshop counted 20 participants: 6 students from Lo Manthang designed 4 micro-projects which they would consider a top priority to implement in their city. Other participants were students from Khwopa Engineering College (Kathmandu), Tribhuvan University Department of Architecture and Engineering (Kathmandu) and Lumbini Buddhist University in Kathmandu



Fig.6 Kathmandu Workshop November 2014

Theoretical information about adaptive re-use was provided and the qualities of traditional materials were stressed. Brick and mud are inexpensive re-usable environmentally friendly materials which have proven their sustainability over time especially in seismic prone areas. However, today modernity consists in cement, concrete and the social status of traditional housing and craftsmanship is low in Nepal. The overall reflection was about how to mitigate the erroneous current conception of traditional housing and how to apply this methodology to Lo Manthang community.

Participants visited a dozen restored traditional houses in Patan, Kathmandu, in order to study different approaches using traditional materials or not. They met with the owners and discussed the benefits and constraints of restoration. The cost of restoration with traditional materials was studied as well as ways to obtain support from sponsors. Meeting owners allowed interactive sessions. Students were able to understand the owners' motivation for restoration. Although most of the owners decided to restore their houses in order to transform them into tourist guest-houses, thus not living in their traditional homes any longer, students were interested by these case-studies. This exercise was an introduction to the following one consisting of adapting these techniques to the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang.



Fig.7 Kathmandu Workshop November 2014

Four teams were set up with Lopa students as their leaders. Each team designed a micro-project adapted to the context of Lo Manthang.

Four micro-projects were presented to a jury composed of Rohit Ranjitkar, Director, Kathmandu Valley Preservation Trust (KVPT), Prof. Neel Kamal Chapagain, Ph. D., Assistant Professor, Centre for Heritage Management at Ahmedabad University (India), Prof. Susanne von der Heide, Kathmandu University and HimalAsia Foundation. These micro-projects consisted of 1/Built heritage of Lo Manthang: inventory and documentation for community awareness-raising, 2/Creation of a parking lot close to Lo Manthang, 3/Inventory and documentation of intangible cultural heritage of Lo Manthang and 4/Creating tourism home stay facilities in Lo Manthang

4.2 Results of the first micro-project elaboration: Built heritage of Lo Manthang: Inventory and documentation for community awareness-raising

Introduction: This project analyzes the causes of the deterioration of Lo Manthang built heritage: neglect, leakage, loss of know-how in masonry and traditional techniques. Use of modern materials is being preferred to traditional ones.

Objectives include 1/Awareness-raising and motivation of the local community, 2/Use of traditional materials and techniques and 3/Involvement of local masons.

The reasons justifying these objectives are 1/Misconceptions about modern materials, 2/Lack of awareness of local materials features and qualities and 3/Water seepage through roofs and leakage through walls

The methodology which will be used consists of 1/Using a mix of traditional and modern materials such as 'pang' (mud and vegetation), bentonite clay ('Tsharangkeisa') and polyethylene sheets, 2/Inventorying and mapping leakages in the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang, testing and building prototypes. Thereafter documenting the best technical solutions and 3/Working in the longer term with local associations (Youth Club and Mothers'/Women Association)

Questions and issues raised by the jury were about how will the team convince local masons? Community local carpenters-builders have almost disappeared as there is only one left who retired in recent years. He should be part of the project in order to train a new generation of traditional carpenters-builders.

After the workshop OCHSPA reported to the Nepalese Department of Archaeology (DoA) who is responsible for all actions in heritage sites such as the walled city of Lo Manthang. A group expedition with students and professors was planned in May-June 2015 to implement these micro-projects with the presence of a representative of DoA. However due to the major earthquakes that occurred in spring of 2015 this expedition was postponed until spring of 2016

4.3. After the 2015 earthquakes: A new era

Even if the 2015 earthquakes dramatically affected the project, OCHSPA believes that its methodology has already changed these 20 students' conception. A multiplying effect could be achieved as 6 of these students are members of the Lopa community. Local connections are crucial in the awareness-raising of the local community. Furthermore, after the earthquakes local leaders witnessed the sustainability of traditional techniques with regard to climate change and seismic prone zones. Also, restoring traditional houses

to accommodate tourists reinforces local pride for tradition. Finally realizing the fact that restoring traditions brings resources such as tourism is certainly a valuable tool to reduce poverty. This is a decisive element for local leaders to prescribe the use of local building techniques in the community of Lo Manthang.

In May 2016 a mission to Lo Manthang was organized by the Department of Archaeology (DoA) with the technical support of OCHSPA. Along the track up to the Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang, OCHSPA drew the attention of the DoA on the secrecy of Upper Mustang tradition. It is hidden in caves containing mural paintings, clay or metal statues, wooden toranas (tympanums) and manuscripts.

Also, cultural landscapes defined as the “*combined works of nature and of man*”, in the *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* are found everywhere in Mustang. It was stressed firstly that Mustang should be considered as a unique cultural landscape which cannot be limited to the sole Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang; and secondly that the national authorities would not be capable to document this exceptional cultural landscape without support and participation of the local community.



Fig. 8 Caves carved in cliffs

Once in Lo Manthang the DoA organized with OCHSPA a public meeting associating all representatives of every district (*tole*) of the city. During this meeting the DoA explained why it is important for the local community to collaborate with the national authorities in order to document and inventory the traditional features constituting the Lo culture. In the recent past (2013-2015) the Lopa community had been reluctant to assist national authorities as it considered that it had been ignored over the past thirty years when its territory was closed. During this meeting the basic principles of inventorying techniques were explained as well as the benefits of documenting cultural properties. Access to the governmental database by the Lopa community was guaranteed. The security of recording in a governmental database in case of theft was put forward as it will attest the ownership of cultural assets if found later on the market. Also, obtaining technical and financial assistance from the government to restore damaged public properties was conditioned by the documentation of these properties.

The local community agreed in starting an inventory exercise under the supervision of the DoA on the following day, after a training session on basic principles of inventory. The exercise was performed by a dozen youth who chose a *chorten* inside the Medieval Earthen Walled City which had been damaged during the 2015 earthquakes. A growing audience eager to witness this first collaboration with the national authorities followed the exercise. A new era in the relations between the Lopa community and the governmental authorities started on this very day.



Fig.9 Youth inventorying at Lo Manthang, May 2016



Fig.10 Participants in the inventorying exercise, Lo Manthang, May 2016

5 – CONCLUSION AND PERSPECTIVES

In the 21st century one should always bear in mind that if it takes longer for national authorities to associate local communities with their work, it is also more sustainable. The 2014 workshop and 2016 mission are just first experimental steps to raise the awareness of the Lopa community about the value of its traditions through their unique adaptability to climate and seismic risks. It is also an original initiative let the local community understand that the built environment of Lo Manthang while being vulnerable should be protected as a precious asset to attract tourism.

While the 2015 earthquakes were human tragedies they allowed a true awareness about the significance of cultural heritage as a marker for the resilience of affected communities. They also drew the attention of the government that reconstruction needed intangible know-how and techniques that were greatly at threat. This can be considered as a unique opportunity to design public policies to revitalize traditional craftsmanship and train new generations of carpenters, masons and sculptors.

Bibliography

Bista, N.S.P., Gyalchung of Mustang and von der Heide, S. (1997): An Account on Cultural Heritage and Nature Conservation in Mustang, Nepal, in: *World Cultural Heritage - A Global Challenge*, Documentation of the International Symposium for EXPO 2000 in Collaboration with UNESCO, A. Geiger and A. Eggebrecht Publishers, Hildesheim, Germany, pp. 186-189.

Chapagain, N.K. (2013), World Heritage in Nepal: Some Critical Reflections on Lomanthang's Potential Nomination, in *Reflections on the Built Environment and Associated Practices*, volume 1, Department of Architecture and Urban Planning, Institute of Engineering of Tribhuvan University, Nepal, pp. 37-53.

Chapagain, N.K., (2002), *Lomanthang Town Wall: A Living Monument Awaiting Conservation. Ancient Nepal*, Journal of Archaeology, Nepal, p.149.

Kitamura, M. (2011): *Lacit  fortifi e de Lo Manthang, Mustang, Nord du N pal*, Editions recherches, France

Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention (26 October 2016) consulted on 29 April 2017: <http://whc.unesco.org/fr/orientations/>

Peissel, M. (1992) [1967], *Mustang - A Lost Tibetan Kingdom (2nd ed.)*, Book Faith India, Delhi, India, pp. 227-31.

Shrestha, D. and Whittaker, M. (2012), *Le Mustang, Le paradis sur terre*, Himalayan Map House, Nepal.

The Medieval Earthen Walled City of Lo Manthang, Tentative List of Nepal, consulted on 29 April 2017: <http://whc.unesco.org/fr/listesindicatives/5256/>

Author's Biodata

Marielle Richon was Programme Specialist at the World Heritage Centre of UNESCO from 2000 to 2012. Since 2013, she has been OCHSPA (Oriental Cultural Heritage Sites Protection Alliance) Project Leader for Nepal and coordinates various projects implemented by this NGO in Nepal. She is a member of ICOMOS France.



Peculiarities of the Armenian Earthen Residential Houses

Emma HARUTYUNYAN, Arman TOROSYAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Context of the research or the activity

Traditional Armenian houses can be divided into three main groups: a) rural traditional houses, b) town residential buildings and c) palatial houses.

This differentiation has a significant role in the aesthetics of these structures through their shapes and the materials they were constructed with. The lodging are found in ancient caves (Vardanyan 1959) as in Khndsoresk, the most widespread stone, the clay underground and other housing, which is exacerbated by the IV-III millennia date as in Shengavit.

Main issues or objectives

The research aims to analyze Armenian national earthen residential buildings' morphological, structural, functional and other characteristics in order to make comparative research of those houses and to classify them by groups. The main factors which determine the differences and the similarities between various buildings will be researched. The research will also stress several construction materials such as: wood, stone and ground.

Results obtained

The study results will be used not only to preserve, but to further encourage the use of the earthen houses. Certain features of traditional earthen structures will be introduced in forming the modern principles of sustainable development in settlements today.

INTRODUCTION

The master plan of contemporary Yerevan – capital of the Republic of Armenia, represents the city's center. The city was designed by the academic Alexander Tamanian, with borders stipulated for 150 thousand inhabitants (Fig.1). It was combined with surrounding areas with a regular lay-out which was generated mainly after 1925. The master plan of the Yerevan of 1924 was made to take into account opportunities for expansion due to the increasing numbers of inhabitants.



Fig. 1 Master Plan of Yerevan (1924) by A. Tamanian

Simultaneously, the issue acknowledged the construction of new settlements for the Armenians who spread all over the world after the Armenian Genocide of 1915 and would potentially want to visit and stay in Soviet Armenia (Fig.2). Therefore new settlements appeared for those who repatriated to Armenia, some of which further were a part of Yerevan, and left significant town-planning and architectural influence on the city. Repatriated Armenians brought with them the traditions of millennial architecture and construction typical to the different regions of Historical Armenia.

Consequently due to the chosen Urban Developing policy, the above mentioned areas began to lose their unique characteristics and special architectural environment. Unfortunately, if it is not documented soon, even those structures that have been studied, investigated and appreciated will soon be distant memories. Because of this, professional research of town-planning, architecture and construction techniques of traditional residential houses, are absolutely necessary.



Fig. 2 Master Plan of Yerevan (1936)

The distinctive features of the above mentioned repatriates` houses are displayed in architectural and layout solutions as well as in traditional building materials including the use of raw brick. They are relatively kept in Nor Arabkir district of Yerevan well representing these mentioned peculiarities (Fig. 3 / Fig.4).



Fig. 3 Traditional residential house in New Arabkir (Armenia)



Fig. 4 Traditional residential house in Old Arabkir (Turkey)

1. PECULIARITIES OF BUILDING TECHNIQS OF TRADITIONAL RESIDENTIAL EARTHEN HOUSES.

1.1 Foundations

The peculiarities mentioned above are currently being preserved in the New Arabkir district of Yerevan. The foundations of these residential houses are mainly from basalt and rag stone. The walls are from mud brick which was also utilized in Old Arabkir. The walls are seismically secured and special wooden beams and flanges are present which served as ties (Fig.5).



Fig. 5 The foundations are mainly from basalt and mud brick

1.2 Walls

Special blocks have been made which could simply move horizontally in case of seismic activity. They were called <<Aragha>> and in the traditional houses of Ararat valley they were called <<khatil>> (Fig.6).



Fig. 6 Special blocks have been made, which could simply move horizontally in case of seismic activity.

1.3 Roofs

The roofs of dwelling houses were plain. There was a mineral known as <<blue ground>> in Old Arabkir which was clay loamed. This mineral became soft when it was wet but became rough once it dried. The first thing they would do when constructing dwelling houses was to fill this clay on the wooden roof and mix it until they achieved the desirable thickness, then they filled the “blue land.” <<Loghel>> means to thicken with a special, heavy, about 40sm diameters cylindrical stone called <<logh>>. This stone had thorough pores, in which they would place a wooden pole and possibly slide it taking the ends (Fig.7). In New Arabkir the same method was used, local ground and after every torrential rain the roofs were rammed. In the traditional houses of Ararat valley they were called <<gloran>>.



Fig. 7 Cylindrical stone for ramming called <<logh>>

2. PECULIARITIES ARCHITECTURE OF TRADITIONAL RESIDENTIAL EARTHEN HOUSES WITH <<BAY WINDOWS>>

2.1 <<Bay windows>>

Some of the first dwelling houses are still kept in this district with their original appearance since 1925. They have special architectural and historical values. There are many parallels in architectural, planning and interior solutions of the dwelling houses with the ones of Old Arabkir. Deserve special attention in two-story houses with <<bay windows>> made by stone and mud brick (Fig.8). As we know <<bay window>> is a balcony on the second floor of a building that was included in the mass of the room. It makes the room seem larger and brighter, freshens the air and enriches the architectural appearance. These kinds of houses can be found in many towns of the Middle East and Europe. The appearance of such kinds of houses was conditioned on necessity of having wider residential areas.

2.2 Construction of the <<bay window>>

The construction of <<bay window>> had a wooden framework. They were covered with glass. They expanded no more than 80 cm, and if the altitude of thick wall of the first floor is also included, the length of the second floor room would prolong about 140-450cm.

2.3 Peculiarities of interiors

The interiors of these houses were reached using the stairs in the center of the building. It is interesting that the inner side staircases of two-stores houses had wooden covers, similar to the ones in Old Arabkir, called <<gabanq>> (Fig.9). <<Gabanq>> is a wooden board the size of the staircase pore and it would be closed at nights and under special circumstances (Harutyunyan 2009).


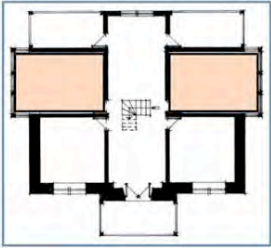




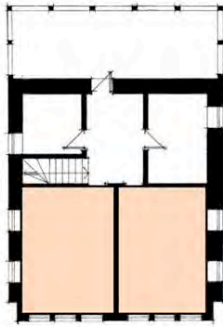


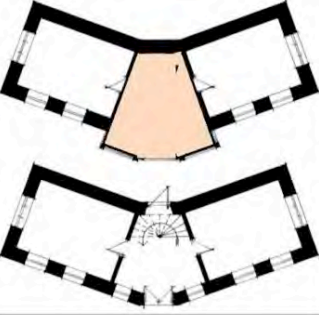

FOTO	PLAN	FASADE
 <p data-bbox="339 443 563 465">Baltayans house (1928)</p>		
 <p data-bbox="339 734 635 757">Jaghatspanyan's house (1929)</p>		
<p data-bbox="339 824 547 846">Chanchikyan's house</p>		
 <p data-bbox="339 1137 539 1160">Chirkinyan's house</p>		

Fig. 8 Classification of houses with bay windows

3. PECULIARITIES OF PLANS OF TRADITIONAL HOUSES

3.1 Planning solutions

The planning solutions for dwelling houses in New Arabkir conform with the system of the dwelling houses of Old Arabkir. The most specific element is the large corridor with a 3 m latitude, which divides the house into 2 parts. If on the right side of Old Arabkir there was an apartment, the left side would have the sitting room. The kitchen was in front of the entrance. The entrances to the barn and silo would be from the yard, but they now serve as secondary rooms or toilets.

3.2 Kitchens

Kitchens also have special solution in these two-storey houses. The kitchens are somehow double storied as well. Some stairs from the entrance go to the upper stage, where the kitchen is. Yet, underneath is the room for food, where the <<teledolab>> was, serving the same function as a refrigerator. The <<teledolab>> was a wooden framed cabin with minor metal mesh. Arabkirians insisted that food was kept well in those <<teledolabs>>. Similar to the other homes, these houses also had arch fireplaces with chimneys but now these fireplaces have been replaced with gas plates (Fig.10).



Fig. 9 Staircases pore with the wooden cover <<gabanq>>



Fig. 10 <<Teledolab>> as a contemporary refrigerator and fireplace in the kitchen

CONCLUSION

In the modern world it is difficult yet simultaneously necessary to appreciate and fight for the preservation and use of mud brick dwelling houses. After evaluating their unique architecture, construction techniques and ecological advantages, especially in the context of sustainable development, we can shed light on the fact that these two-storey houses do not meet modern necessities. Yet, if we unite our knowledge and efforts with one another; we can soon find a solution to this issue not just in Armenia but in all regions who's unique and noteworthy architecture is suffering due to the buildings' lack of modernization.

BIBLIOGRAPHY:

- Vardanyan S. (1959). *Haykakan joghovrdakan bnakeli tneri chartarapetutyun*. Haypethrat, Yerevan, (in Armenian).
- Harutyunyan E.P. (2009). *Hay chartarapetutyun mnayun dzeragiry*. Moughni, Yerevan, 200 p. (in Armenian).

BIOGRAPHY

EMMA HARUTYUNYAN, PhD, associate professor at NUACA.

Member of Union of Armenian Architects, Member of "ICOMOS-Armenia", Corresponding member of Engineering Academy of Armenia. Author of 20 scientific articles, Monography "The Permanent Tradition of The Armenian Architecture", Book "Destiny of Architect Manuel Kaputikyan"

ARMAN TOROSYAN, PhD student at NUACA.

Participation in International workshops: Clermont-Ferrand, France, April 1, 2011, Grand Prix, Yerevan, Armenia, May 6, 2011, Grand Prix, Certificate, Krasnoyarsk, Russia, International Competition of Student Final works, Diploma, Lublin, Poland, UNESCO Training Course "Urban Preservation and Renewal", 2014



Sustainable Development and Historical Preservation of Adobe Buildings

Marine GHAZYARYAN, Artavazd NAZARETYAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

This paper is an attempt to discuss the methods and tools of quantifying historical preservation benefits using non-market valuation methods. Talking about direct and indirect methods of valuation, the environmental, economic, and social components of sustainable development are discussed based on western and local data. The heritage is categorized for better and targeted valuation. The range of possible valuation methods for each category is considered and concluded that market valuation methods may be applicable for heritage assets that are not included in the National Heritage List. In addition the necessity of development of financial and tax incentives is raised for provision of viable economic future and for better preservation and restoration of historic sites. Concluding the author states that development without historic preservation component is not sustainable.

The economics of preservation is a new field compared with other economics fields and disciplines. The main question that the field raise is: Does preservation pay? Due to complexity of the issue the answers are not simple. Furthermore, there are not sufficient studies in the field. As Randal Mason states in his studies "There is a relative lack of academic research on the economics of preservation (as compared with other economic sectors, or as compared to the literature on preservation's cultural aspects generated from within the field itself). This is due to two factors, respectively: on the first point, cultural topics in general are seen as relatively unimportant, less serious, and less desirable subjects of economic research (there are many incentives for economists to work on traditional, market-centered topics); on the second point, preservation being a field, not a discipline, there is no established academic infrastructure and base of research institutions to support sustained research on the topic (or many other preservation topics) over time¹."

Economics of preservation of buildings made of sun-dried earth bricks (adobe) is a segment even less studied, though earthen architecture conservation as a discipline is getting more acceptance and popularity during the last decades as an indispensable part of heritage. Interest to earthen architecture was awakened by environmental movement, as the earth buildings were recognized as an almost zero carbon emission constructions. The earthen constructions over the entire life cycle: starting from raw material to brick production, design, construction, execution, maintenance, demolition and disposal is environmentally sustainable cycle.

The concept of sustainable development is perfectly applicable to the heritage preservation issue in general and preservation of earthen architecture heritage in particular. We can state with confidence that historic preservation is an important and integral part of sustainable development¹. Moreover, there is no sustainable development without historic preservation. From the point of view of cultural heritage Brundtland's famous definition can be paraphrased as - Sustainable development is a kind of development that meets cultural needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own cultural needs. In the framework of sustainable development that includes environmental, economic and social components, the cultural

¹"Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs." from the World Commission on Environment and Development's (the Brundtland Commission) report Our Common Future (Oxford: Oxford University Press, 1987).

component is missing. I have taken the freedom of adding cultural responsibility as a new component and expanding it into environmental, economic, social and cultural responsibility.

All definitions of sustainable development require that we see the world as a system that connects space; and a system that connects time. Architecture and historic preservation is about connecting the space and time. Architects design the space of tomorrow with the tools of today, connecting time and space. Thus we have to recognize the interrelationship and the interdependency between sustainable development and heritage conservation.

The advocates of sustainable development perceive environmental responsibility dominant to other categories, thus mixing with the idea of green architecture and preservation. Historical preservation is much more than green building or green architecture: it's about national identity, understanding who we are individually and collectively, it's about individual and collective sense of place and time, it's about connection to the generations past, that locate us on this planet, it's about lifestyle and values, it's about culture. We all know this axiomatically, without looking for proof and we also know that historic preservation is much more.

Coming to green architecture we see that our lifestyle and values have changed dramatically during the last two hundred years, or as accepted to say during the industrialization area, and now the building sector consumes almost half of the energy produced on the earth in general and more the 70 percent of produced electric energy. This makes us to rethink and revise our attitude and value the sustainable and affordable earthen architecture buildings, preserve them for cultural diversity.

Why our heritage in Armenia is mostly uncared and misused? How can a country sustainably develop without historical preservation?

Due to my background I tend to look for the answers in economics. I see that historic preservation and economics are in conflict. The benefits of historic preservation seemed to be less than costs, as the costs for preservation have monetary expression, while benefits do not. We tend to use words for describing the benefits and numbers for describing the costs. This is an attempt to discuss the methods and tools of quantifying what historical buildings and landscapes mean to us. Engagement in some degree of quantitative front will advance in matching up benefits of historic preservation to the costs.

The economists have several mechanisms for valuation of above mentioned intangibles. The tools of the non-market valuation methods applicable to the similar issues are: contingent valuation method, travel cost method, Hedonic price method, property cost method, etc. We have studied the applications of the above mentioned methods on a Getazat village Cultural Center preservation/renovation project. The Cultural Center in Getazatis an adobe building (700 sq. meters, territory 0.43 hectares) built in 1937 and served as a community social and cultural hub starting from 1937 up to 90s. As a state owned building it was included in the rehabilitation and renovation list of the Armenian Territorial Development Fund in 2015. The historical value of this adobe building is officially recognized and it is also included in the historical preservation list. Our application of the above mentioned intangible valuation methods for the Cultural Center (CC) are presented in short description below:

Contingent valuation method (CVM) is used to estimate economic values for historic places and constructions. It can be used to estimate both use and non-use values, and it is

the most widely used method for estimating existence values. This method reveals the value that a person is willing to pay for preserving historic place or monument. As the Getazat CC is not widely recognized we created a hypothetical marketplace through well designed surveys for the inhabitants of Getazat and the analysis reveals that the community is ready to pay only 10 percent of the rehabilitation project.

Travel cost method (TCM) is used to apply a value to a historic site that has no value or is priceless. This method assumes collecting data on willingness to pay for the traveling or the actual costs incurred by each individual in travelling to the historic site or monument. By summing the travel costs from each individuals participating in the survey a demand curve can be estimated, and as such a price obtained. The value for the site is estimated by multiplying total number of visitors (N_1) per annum by the average (P_1) travel costs. The formula for calculation is:

$$N = ((T \times w) + (D \times v) + Ca) \times Nv$$

Where,

T -travel time (in hours)

w - average wage rate (\$/hour)

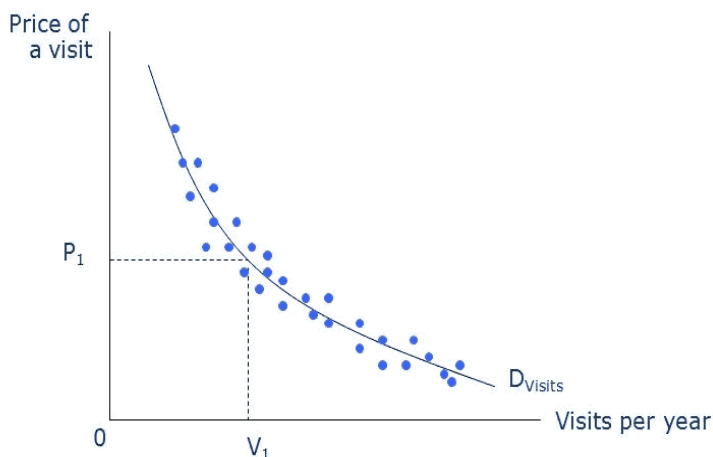
D - distance (in km)

v -marginal vehicle operating costs

Ca -cost of Admission to asset

Nv -average number of visits per year

In this case the virtual visits are not included in the calculations. As an example the Metropolitan Museum of Art calculated that while the museum draws six million visitors in a year, its website attracts 29 million users and its Facebook page reaches 92 million.²



The travel cost method is not applicable for the CC of Getazat, as it is out of touristic interest and may be applicable for only a small group of former inhabitants of Getazat that have emotional connections to the CC and a couple of scientists studying earth architectural heritage.

Hedonic price method: This method is used to estimate economic values for historic site or monument that directly affect market prices of the immovable. The formula for the hedonic price method is:

$$P = f(s_1, s_2, s_3, \dots, s_i; n_1, n_2, n_3, \dots, n_j; e_1, e_2, e_3, \dots, e_j)$$

Where:

s_1, s_2, s_3 are the structural variables of the house;

n_1, n_2, n_3 are the neighborhood to Historical areas variables,

e_1, e_2, e_3 are environmental variables.

Through regression analysis, it is most commonly applied to variations in housing prices that reflect the value of local historic site. The studies on hedonic pricing method revealed that historic resources are economic engines for neighborhood. The CC of Getazat has no actual influence of the real estate prices in Getazat.

All these methods have some degree of precision and the accuracy of the valuation methods may vary from the level of recognition of the building as a cultural heritage, cultural significance, and population density in the area, biases common for survey - based valuation technique and many other variables. Even if we hesitate in precision of the valuation methods we have to apply them for better comparison, understanding and for quantitative balancing the core historic preservation benefits and costs.

Leaving alone the specifics of non-market valuation methods, I'll propos discussing the indirect benefits of historical preservation. What are the benefits of historic preservation from the point of view of sustainable development?

Environmental Benefits: We start from material flow and solid waste disposal. Donovan Rypkema in his studies³ on solid waste disposal states that "In the United States, almost one ton of solid waste per person is collected annually. Solid waste disposal is increasingly expensive both in dollars and in environmental impacts. You know we all diligently recycle our Coke cans. It's a pain in the neck, but we do it because it's good for the environment. Here is a typical building in a North American downtown – 25 feet wide and 100 or 120 or 140 feet deep. Let's say that today we tear down one small building like this in your neighborhood. We have now wiped out the entire environmental benefit from the last 1,344,000 aluminum cans that were recycled. We've not only wasted an historic building, we've wasted months of diligent recycling by the good people of our community." Consequently preserving historical buildings we produce less waste and avoid generating waste that will be assimilated in hundred years. When historic buildings and sites are torn down, a part of our past disappears forever and this costs to us. From the material and energy flow point, preserving historical buildings we consume less construction materials and accordingly we consume less energy that is embodied in the construction materials. Furthermore during preservation and restoration works mostly natural construction materials are used compared to the construction of new buildings. Consequently during restoration green construction is preferred.

Economic and social benefits: Economic impact is often expressed in statistics relating to several different aspects of historic preservation, such as rehabilitation work on buildings, heritage tourism, production of housing. Historic preservation benefits economy because it increases demand for labor, encourage private investments in an area by public commitment to an area. Recent studies conducted by Rutgers University have found that historic preservation has significant impact on short term jobs creation in construction related fields. Rutgers University's study suggests, "Historic rehabilitation is more economically potent then new construction of roads or buildings". For example for every \$1 million spent on non-residential historic rehabilitation 38.3 jobs are created, \$1,302,000 is

created in income, \$ 1,711,000 in GDP, and \$202,000 in taxes. In contrast \$1 million in non-residential new construction creates 36,1jobs, \$1,223,000 in income, \$1,600,000 in GDP, and 189,000 in taxes. They have estimated that close to 2,316 jobs are created annually in New Jersey as a result of historic preservation.

Economic Impacts per Million Dollars of Initial Expenditure

Economic Effect (National)	Residential Historic Rehabilitation	Book Publishing	Pharmaceutical Production	Electronic Component Production
Employment (jobs)	36	35	28	30
Income (\$000)	1,240	1,160	1,045	1,018
GDP	1,672	1,722	1,546	1,483
State taxes (\$000)	106	103	93	87
Local taxes (\$000)	89	86	79	74

Source: Listokin and Lahr 1998

Most importantly historic preservation can create major developments in the country tourist sector and all related industries. Tourism is one of the fastest growing segments of the world’s economy in the 21st Century. In Rutgers University studies we see that heritage tourists in USA are the growing largest group of tourists with the most money to spend. Heritage tourists tend to be older, likely have a post graduate degree, take longer trips, spend more money, and participate in more activities. These aging baby boomers and senior citizens spend in average of \$688 per trip compared to the average \$428 of other travelers. Rutgers University found that \$81 million in income taxes have been generated; \$15 million in state and local taxes, \$116 million in GDP, and \$432 million have been pumped into the New Jersey economy from annual heritage tourists.

For Armenia tourism is identified as an important component of an overall economic development strategy. According to the Ministry of Economy analysis tourism industry is one of the intensive growing industries of the country. Heritage tourism in Armenia has competitive advantage to other touristic categories. The identification and protection of the historic resources will be vital for a successful tourism effort.

	2015	2014
State budget for heritage preservation and rehabilitation(000 AMD)	473,133.9	399,353.6

Source: State Budget Law for 2014 and 2015

In USAID Tourism Development Concept paper is mentioned that tourism resources diversity and quality in Armenia is high “historical monuments represent several distinctive cultures: Urartu, Hellenic, Christian, Muslim, Soviet, offering an outstanding richness. The majority of the most famous monuments is rather well-preserved and/or reasonably wellrestored. Three of cultural-historical and nature monuments are among global cultural

treasures (UNESCO): Haghpat, Sanahin, Geghardavank and the valley of Azat river, Etchmiadzin together with its Zvartnots temple. In the same paper is mentioned that “Currently Armenia does not stand out amongst the world’s tourism destinations despite its rich historical cultural and natural tourism resources. Only a small proportion of the global population have heard of Armenia, know where it is located or have an image of what the country has to offer. Armenia needs to position itself carefully in the global market as a tourism destination.”

All the above mentioned tools are necessary for economic valuation of the historic preservation, but they are not sufficient. Financial intensives and tax intensives have to be created and applied for better preservation and restoration of historic heritage. For the preserved historic building viable economic future have to be developed.

“For the 21st Century only the foolish community will make the choice between historic preservation and economic development. The wise community will effectively utilize its historic built environment to meet the economic, social and cultural needs of its citizens well into the future.”⁴Development without historic preservation component is not sustainable. Historic buildings are our greatest assets, but also our greatest challenges. The microeconomic valuation methods are important tools for stressing and measuring the benefits of cultural heritage conservation for the policy makers.

Illustrations





Bibliography

1. Randall Mason, University of Pennsylvania, 2005, Economics and Historic Preservation: A Guide and Review of the Literature
2. Anand Giridharadas, 2014, "Museums See Different Virtues in Virtual Worlds," New York Times (August 8, 2014, p. C19)
3. Donovan D. Rypkema, Historic Districts Council Annual Conference in New York City, on March 10, 2007. "Sustainability, Smart Growth and Historic Preservation",
4. Culture, Historic Preservation and Economic Development in the 21st Century, September 1999, Yunnan Province, China
5. Listokin and Lahr, 1998, a pro-preservation scholarly essay on "The Contributions of Historic Preservation to Housing and Economic Development."
6. Navrud and Reilly, eds., 2002, a current collection of academic economists studying preservation phenomena, weighted toward the use of contingent valuation methods.
7. Carson, R. T., T. Groves, and M. J. Machina. 1999. Incentive and informational properties of preference questions. Plenary address, Ninth Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Oslo, Norway, June
8. Feldstein, M., ed. 1991. The Economics of Art Museums. Chicago: University of Chicago Press.
9. Kahneman, D., I. Ritov, and D. Schkade. 1999. Economic preferences or attitude expressions?: An analysis of dollar responses to public issues. Journal of Risk and Uncertainty 203-2035
10. Navrud, S., and R. Ready, eds. 2002. Valuing Cultural Heritage: Applying Environmental Valuation Techniques to Historic Buildings, Monuments, and Artifacts. Cheltenham, U.K.: Edward Elgar.
11. US/ICOMOS. 2000. Thematic statement of ICOMOS International Conference, Philadelphia, April. www.icomos.org/usicomos.
12. Feilden, B. & Jokilehto J. (1993) Management Guidelines for World Cultural Heritage (Rome: ICCROM).
13. Fieldin, B. (2003) *Conservation of historic Buildings* (Oxford: Architectural Press).
14. Finke, A. L. (2008) *Implementing Preventive Architectural Conservation: Do Historic Property Stewards in the United States Possess the Tolls to Meet the Challenge?*, A Thesis in Historic Preservation for Master of Science in Historic Preservation, Graduate Program in Historic Preservation (Philadelphia: University of Pennsylvania).

15. Forster, A. M. & Kayan, B. (2009) *Maintenance for historic buildings: a current perspective*, *Structural Survey*, 27(3), pp. 210–229, doi: 10.1108/02630800910971347.
16. Klamer, A. (2004) *Cultural Goods are Good for More Than Their Economic Value*; Culture and Public Action (Stanford: Stanford University Press).
17. Mason, R. (2002) *Assesing Values in Conservation Planning: Methodological Issues and Choices*; Assesing the Values of Cultural Heritage (Los Angeles: The Getty Conservation Institute).
18. Mourato, S. & Mazzanti, M. (2002) *Economic Valuation of Cultural Heritage: Evidence and Prospects*; *Assesing the Values of Cultural heritage* (Los Angeles: The Getty Conservation Institute).
19. Mason, R. (2008) *Be Interested and Beware: Joining Economic Valuation and Heritage Conservation*, *International Journal of Heritage Studies*, 14(4), pp. 303-318, doi: 10.1080/13527250802155810.
20. Mossetto, G. (2003) *Aesthetics and Economics* (Dordrecht : Kluwer Academic Publishers).
21. Navrud, S. & Ready, R. C. (2002) *Valuing cultural heritage: applying environmental valuation techniques to historic buildings, monuments and artifacts* (Northampton: Edward Elgar Publishing, Cheltenham).
22. Pickard, P. (2001) *Policy and Law in Heritage Conservation* (London, New York: Spon Press).
23. Riganti, P. & Nijkamp, P. (2005) *Benefit transfers of cultural heritage values: How far can we go?*, 45th Congress of the European Regional Science Association: "Land use and Water Management in Sustainable Network Society", 23-27 August 2005, Amsterdam (Amsterdam: VrijeUniversiteit).
24. Aversano, N. & Ferrone, C., 2012. *The Accounting Problem of Heritage Assets*. *Advanced Research in Scientific Areas* 2012, (3. -7), pp.574–578.
25. National Heritage Act 2005. *In Maximising Commercial Value in Heritage Buildings and Valuation Perspectives*.
26. International Valuation Standards, 2011. *International Valuation Standards 2011*.

Biography

Marine Ghazaryan enjoyed six years of teaching Environmental Economics at Armenian State University of Economics, she has participated in several heritage preservation projects of Armenian Apostolic Church, and currently she is holding an administrative position at National University of Architecture And Construction of Armenia.

Artavazd Nazaretyan is architect and author of several preservation, rehabilitation and renovation projects of cultural heritages. Mr. Nazaretyan developed projects for preservation and usage of earthen architect monuments at Mother See of Holy Etchmiadzin, Armenia.



Corn cob influence on unfired earth bricks' properties

Aurélie LABOREL-PRÉNERON, Jean-Emmanuel AUBERT, Camille MAGNIONT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

Building industry is one of the most polluting sectors. This assessment explains the major challenge of developing sustainable building materials. Unfired earth is experiencing renewed interest as a building material due to its low environmental impact and its capacity to regulate humidity inside the building and thus improve building users' comfort. However, few studies deal with earth bricks incorporating plant aggregates in order to lighten and improve some properties of the material. In response to such issues, the Bioterra ANR project aims to develop and to characterize bio-based earth composites. In this paper, the mechanical and hygrothermal properties of earthen bricks with corn cob were investigated. The proportions of corn cob used in the present study were 3% and 6% by weight of the earth. The results showed that the addition of 3% and 6% of corn cob decreased the compressive strength by 20% and 55% respectively. Concerning thermal insulation, the thermal conductivity of the specimens decreased until 55% due to the lightening of the material. However, water vapor permeability was not significantly influenced by the addition of corn cob.

1. INTRODUCTION

Earth has been used as a building material for thousands of years, as have wood and stone. Nowadays, around 30% of the population still live in earth shelters (Minke, 2006), especially in developing countries. Some of the main advantages of building with earth are the availability of the material, its low cost, its recyclability and its low requirement in energy for the transformation process (Minke, 2000). For these reasons, earth is increasingly being studied.

Nevertheless, earth material has some weaknesses, such as hygroscopic shrinkage or limited durability to water (Aymerich et al. 2012). Stabilizers, as hydraulic binders or plant fibers, are generally used to reduce the disadvantages of these characteristics (Danso et al. 2015). Fibers and excrement have always been used to improve earth properties (Chazelles et al. 2011) but their use was based only on empirical knowledge and not on scientific investigations. To date, only around twenty studies have dealt with earth bricks where plant aggregates are incorporated into the earth matrix (Danso et al. 2015) but none focus on corn cob incorporated in raw earth.

This study was carried out in the context of the Bioterra project. This ANR collaborative project aims (i) to characterize earth-based products in terms of their mechanical, hygroscopic and thermal properties, (ii) to characterize the proliferation of microorganisms on these products as a function of various environmental parameters and (iii) to propose solutions to limit the proliferation of harmful microorganisms at the surface of bio-based earth products.

This paper presents the results of an experimental study performed on unfired earth materials with a weight content of 0 to 6% of corn cob. Mechanical, hygroscopic and thermal properties were measured to enrich the databases of bio-based earth construction materials.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The material studied in this paper is a bio-composite composed by unfired earth and a plant aggregate which is corn cob. Quarry Fines from Washing Aggregate Sludge (FWAS) were used as earth. These fines are composed of calcite (63%), dolomite (3%), kaolinite (11%), quartz (10%), illite (9%) and goethite (3%). FWAS were extremely fines: 99% of the particles were below 80 μm and the average particle size (D50) determined using the pipette analysis was equal to 6.5 μm . Corn cob is the central part of the ear of corn cleared of grain and crushed. The hardest part was studied here. It was determined by image analysis that 90% of the particles have an equivalent area diameter between 2.5 and 6.4 mm with an average of 3.3 mm.

2.2. Manufacturing

Three different mixtures were prepared for the various tests: (i) specimens made with FWAS only and specimens containing (ii) 3% and (iii) 6% of corn cob by weight content, marked CC3 and CC6, respectively. The water content of the mixtures was determined by the Proctor test. The water content was around 14% for FWAS and 16% for CC3 and CC6. To manufacture the specimens, earth and corn cob fractions were poured into a blender and mixed by hand. Then, water was added and the materials were mixed mechanically in the blender until a homogeneous mix was obtained. The raw materials were mixed the day before molding.

Specimens were manufactured by static compression at the Proctor density: cylindrical specimens 5cm in diameter and 5cm high ($\Phi 5\text{H}5$) for compressive strength and water vapor permeability tests and rectangular prisms of 150x150x50 mm³ for thermal conductivity measurements.

The specimens were first dried at 40°C for 24 hours, then the temperature was increased by 0.1°C/min to 100°C and kept at 100°C until the weight became constant (weight variation less than 0.1% between two weightings 24 hours apart). This rise in temperature was kept slow to keep shrinking homogeneous and to avoid mechanical stresses. They were then stored in a room regulated at 20°C and 50% relative humidity and were tested from the moment when they were in equilibrium with the environment (about one week later).

2.3. Mechanical characterization method

The compressive strength tests on the $\Phi 5\text{H}5$ specimens were performed using a 100kN capacity hydraulic press. Three specimens of each mixture were tested in two different tests: one test with the specimen in direct contact with the steel plates (generating friction) and the other including a system avoiding friction. In the latter case, a 2-mm-thick piece of Teflon and a thin neoprene piece - with a drop of oil between the layers - were put between the earth specimen and the steel (neoprene in contact with the specimen, and Teflon in contact with the steel). Displacements and loads were measured in each case. The Young modulus of each specimen was then calculated from the linear part of the stress-strain curve.

2.4. Thermal characterization method

Thermal conductivity properties were assessed on three 150x150x50 mm³ rectangular prisms for each composition. The measurements were carried out with the EP500 guarded hot plate apparatus. Before testing, the specimens were dried at 100°C and placed in a desiccator to cool. They were wrapped in a thin plastic film to avoid any humidity uptake during the measurement, which was performed at 25°C with a difference of temperature of 10K between the two plates. Steady state was assumed to have been reached when the change in conductivity was less than 1% in 60 minutes.

2.5. Water vapor permeability characterization method

Measurements were realized on three Φ 5H5-specimens for each composition. The wet cup method was assessed according to the French standard NF EN ISO 12572 (AFNOR, 2001). Before testing, specimens were kept at 20°C and 50% of relative humidity. Humidity of the wet cup was regulated at 86% by means of a saline solution of potassium chloride. This cup, with the specimen on its top, was placed in a chamber regulated at 23°C and 50% relative humidity. The difference of humidity created an outgoing flow of water vapor, measured by regular weighing. The specimens were surrounded by an adhesive waterproof aluminum tape on the lateral face. They were then placed on a plastic support so as not to be in contact with the saline solution. The whole setup was finally sealed by a mix of 60% beeswax and 40% paraffin. The water vapor diffusion resistance factor (μ) was determined for the three compositions.

3. RESULTATS AND DISCUSSION

3.1. Compressive strength

The average of dry density (ρ_{dry}), the maximum compressive strength (σ_c), the average ultimate strain (corresponding to the maximum compressive strength) (ϵ_a), the average compressive strength at 1.5% strain ($\sigma_{c,1.5\%}$) and the average experimental Young modulus (E_a) of each typology of specimen and for each testing protocol are reported in Table 1.

Table 1: Measured mechanical properties of the materials

Test	With friction			Reduced friction		
	FWAS	CC3	CC6	FWAS	CC3	CC6
Type						
ρ_{dry} (kg/m ³)	1995±0	1878±1	1754±13	1982±10	1876±1	1654±53
σ_c (MPa)	4.0±0.4	3.2±0.2	1.8±0.6	3.9±0.9	1.3±0.1	0.9±0.1
ϵ_a (%)	1.3±0.1	2.4±0.2	2.5±0.5	1.0±0.1	1.2±0.1	1.8±0.2
$\sigma_{c,1.5\%}$ (MPa)	4.0±0.4	2.1±0.3	1.3±0.6	3.9±0.9	1.3±0.1	0.9±0.0
E_a (MPa)	439±54	217±45	102±69	564±161	136±40	69±9

Fig. 1 summarizes the compressive strength of the specimens for the various corn cob contents (0%, 3% and 6% by weight) and for both protocols: with friction at the interface between the specimen and the press, and with reduced friction. For each composition, the compressive strength measured in the tests with friction was greater than that in tests with reduced friction, especially for the samples containing corn cob, because of the confinement. The choice of method used significantly affects the strength value, thus it is important to know which one is the more adequate. The compressive strength of the specimen composed of earth alone was higher than that of CC6 and CC3, which is in

accordance with density values of the various specimens. The average strengths (for the procedure with friction) were 4.0MPa for the FWAS, 3.2MPa for CC3 and 1.8MPa for CC6. All the results, excepted the one of CC6 with reduced friction, were above the minimal value of 1.3 MPa specified by the New-Zealand Earth Building standard NZS 4298 (Standards New Zealand, 1998). It is also important to note that the ultimate strain CC3 and CC6 specimens was higher than for FWAS specimens: between 1.2% and 2.4% for CC3 and between 1.8% and 2.5% for S6, whereas it was only between 1% and 1.3% for FWAS. The addition of corn cob increased slightly the ductility of the composite.

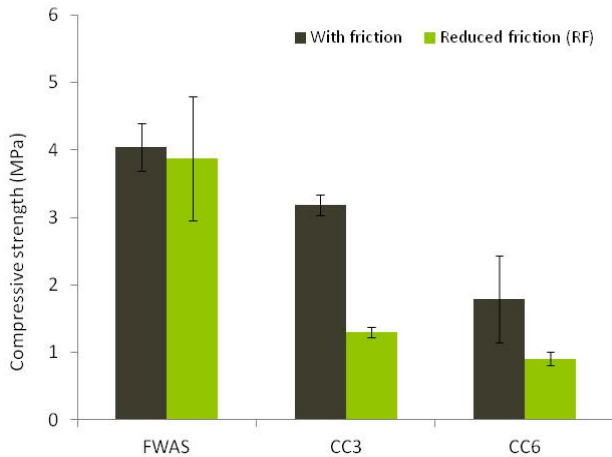


Fig. 1: Average compressive strength

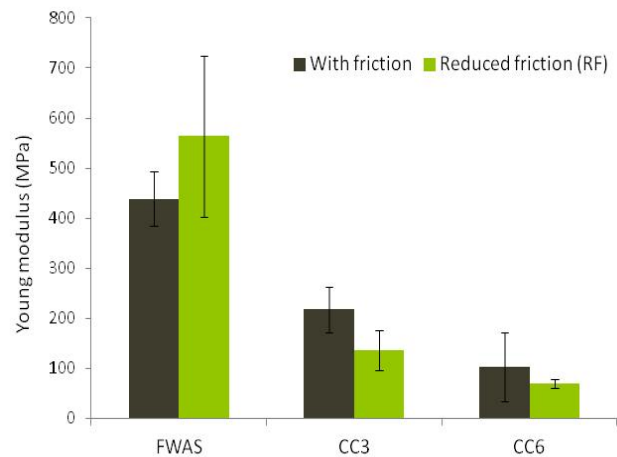


Fig. 2: Young modulus

Young moduli were obtained from compressive strength tests and they are recapitulated in Fig. 2. The most striking result visible in the figure is that the FWAS specimen had the highest value (around 500 MPa). The Young moduli of the specimens containing 3% and 6% of corn cob were far lower (around 220 MPa and 100 MPa respectively). The FWAS specimens presented the highest stiffness of the different types. The increase of corn cob content significantly decreased the Young modulus.

3.2. Thermal conductivity

Tests were performed on three specimens for the three compositions. The average values of thermal conductivity obtained (Fig.3) were $0.57 \pm 0.03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $0.35 \pm 0.02 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ and $0.26 \pm 0.01 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ measured respectively for FWAS, CC3 and CC6 specimens. The results show that the thermal conductivity decreased by about 39% and 55% respectively for the CC3 and CC6 specimens with respect to the FWAS specimens. This decrease of thermal conductivity with an addition of plant aggregates has been widely reported in the literature (Al Rim et al. 1999; Ledhem et al. 2000; Simons et al. 2015). It is linked with the decrease in density of the composite material. The improvement of thermal insulation demonstrates the interest of studying fibered earth bricks.

Fig. 4 represents the thermal conductivity as a function of the dry density of the studied materials (in orange) and other bio-based materials from the literature, in general with an earth matrix. It confirms that thermal conductivity decreases with the dry density. This graph allows the materials of the present study to be compared with others. The values were of the same order of magnitude as those of (Taoukilet al. 2013; Simons et al. 2015) but were significantly lower than those of (Laurent, 1987; Khedariet al. 2005; Liuzziet al. 2013). Even though the results came all from the same type of material, the values were quite scattered. For example, it could be seen on Fig.10 that for a dry density of 1500 kg.m^{-3} , the thermal conductivity values were between $0.25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ and $0.61 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. The measured values of that study were thus situated in the lower part of the referenced thermal conductivities.

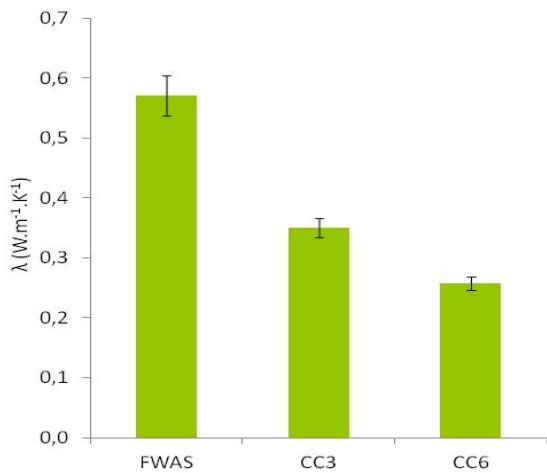


Fig. 3: Thermal conductivity of the materials

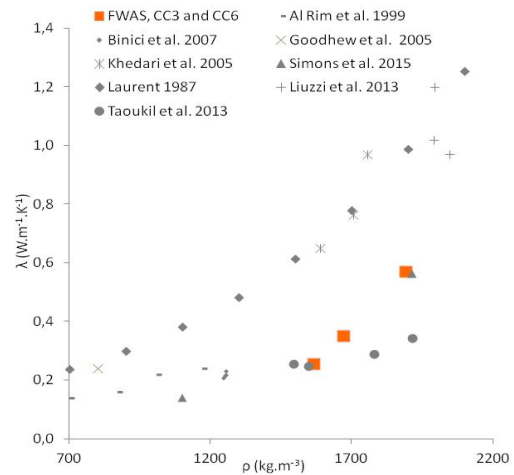


Fig. 4: Experimental and literature values of thermal conductivity

3.3. Water vapor permeability

The assemblies were weighed daily over ten days. Using the measurements and the calculation presented in the NF EN ISO 12572 standard, the water vapor diffusion resistance factor (μ) was deduced for each composite specimen. The average values calculated from three specimens are presented in Table 2. All the average factors were very close (4-5), but these results do not bring out the influence of the corn cob. These values were very low, which means that earth is a very permeable material (Cagnonet al. 2014). The results could be compared with reference values of other materials according to the 2012 French Thermal Regulations. For instance, the concrete factor is around 80 and the calcareous stone factor is around 150, which could be related to their compressive strength and their density. The permeability behavior of earth bricks is comparable to that of porous construction materials such as wood concrete or gypsum (lower than 10).

Table 2: Water vapor diffusion resistance factor (μ)

	FWAS			CC3			CC6		
μ	4.2	4.8	4.8	4.3	3.8	4.3	5.4	5.8	5.6
μ_{moy}	4.6±0.3			4.1±0.3			5.6±0.2		

4. CONCLUSION

This work investigated the effects of additions of 3% and 6% of corn cob on several properties. The compressive test results showed that a FWAS specimen had the highest strength. Adding corn cob decreased the compressive strength by until 55% for the CC6 specimens. The tests carried out with reduced friction generated lower strength values than the higher friction test. By increasing the corn cob content to 6% by mass, the thermal insulation was increased by 55%. The results confirmed that the thermal conductivity decreased when the material was lightened. These results justify the interest of using light plant aggregates in earth bricks to improve the thermal insulation and thus to make significant savings in the energy used for heating buildings. Corn cob content did not seem to have a significant influence on water vapor permeability, however there remain very permeable to water vapor. As part of the Bioterra project, the effect of the addition of barley straw and hemp hurds had been studied (Simons et al. 2015; Laborel-Préneron et

al. 2015). Furthermore, it would be interesting and necessary to study in greater depth hygroscopic properties of bio-based earth products, especially sorption-desorption, because they can affect the potential growth of microorganisms.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to thank the French national research agency ANR(BIOTERRA - ANR-13-VBDU-0005VillesetBâtiments durables) for the funding of this project.

BIBLIOGRPHIE

- AFNOR (2001), Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment, NF EN ISO 12572.
- Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilily, R.M., and Queneudec, M. (1999), Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. *Cement and Concrete Composite*,21: 269–276.
- Aymerich, F., Fenu, L., and Meloni, P. (2012), Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material. *Construction and Building Material*,27: 66–72.
- Cagnon, H., Aubert, J.E., Coutand, M., and Magniont, C. (2014), Hygrothermal properties of earth bricks.*Energy and Building*,80: 208–217.
- Chazelles, O. collectif sous la direction de C. de, Klein, A., and Pousthomis, et N. (2011), *Les cultures constructives de la brique de terre crue - Echanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue - 3*. Espérou.
- CSTB, (2012), *Règlementation thermique*, Fascicule 2 : Matériaux.
- Danso, H., Martinson, B., Ali, M., and Mant, C. (2015), Performance characteristics of enhanced oil blocks: a quantitative review. *Building Research and Information*,43: 253–262.
- Khedari, J., Watsanasathaporn, P. and Hirunlabh, J. (2005), Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composite*, 27: 111–116.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J.-E., Magniont, C. (2015), Influence de la teneur en chènevotte sur les performances mécaniques et les propriétés hygrothermiques d'un éco-matériau à base de terre crue, *Conférence Internationale Francophone NoMaD*, Douai.
- Laurent, J.-P. (1987), Propriétés thermiques du matériau terre, études et recherches. Cahier 2156.Paris : CSTB, 17p.
- Ledhem, A., Dheilily, R.M., Benmalek, M.L., and Quéneudec, M. (2000), Properties of wood-based composites formulated with aggregate industry waste. *Construction and Building Material*,14: 341–350.
- Liuzzi, S., Hall, M.R., Stefanizzi, P., and Casey, S.P. (2013), Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. *Building and Environment*, 61: 82-92.
- Minke, G. (2006), *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhauser, Germany.
- NZS 4298 (1998), Materials and Workmanship for Earth Buildings.
- Simons, A., Laborel-Préneron, A., Bertron, A., Aubert, J.-E., Magniont, C., Roux, C., and Roques, C. (2015), Development of bio-based earth products for healthy and sustainable buildings: characterization of microbiological, mechanical and hygrothermal properties. *Matériaux et Techniques*, 103.
- Taoukil, D., El Bouardi, A., Sick, F., Mimet, A., Ezbakhe, H., and Ajzoul, T. (2013), Moisture content influence on the thermal conductivity and diffusivity of wood–concrete composite. *Construction and Building Material*, 48: 104–115.

BIOGRAPHY

Aurélie Laborel-Préneron is PhD student at the University of Toulouse since September 2014. Her experimental research topic concerns the formulation and characterization of unfired earth bricks with plant aggregates.

Jean-Emmanuel Aubert is a senior lecturer at the University of Toulouse and has performed his research activities in the LMDC since 2003. His main topics of research concern the eco-efficient materials used in building and road construction, especially the use of earth as construction materials.

Camille Magniont is a senior lecturer at the University of Toulouse and has performed her research activities in the LMDC since 2010. She is dedicated to the study of design and multiphysical characterization of bio-based building materials. She is an active member of RILEM International Technical Committee “Bio-aggregates based Building Materials”.



Modelling the behavior of rammed earth structures

Winarputro Adi RIYONO, Eric VINCENS, Jean Patrick PLASSIARD

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Earth has been widely used through ages as a suitable material for building construction. For example, millions of buildings made with earth are listed in France (Michel & Poudru F 1987). Rammed earth is one of the represented building technique in this list. As no regulation exists for rammed earth structures in France, the owners of such structures are helpless at the time when repairing damages appearing in any aging heritage. This work is part of a national research project devoted to the study of construction building involving earth. In particular, both monotonous and cyclic mechanical tests were carried out on some representative materials used in France for rammed earth buildings. In this paper, a numerical modelling of these experiments is provided. An elastoplastic constitutive law is developed for modeling the behavior of rammed earth. It is based on a hierarchical approach of the modeling in relation to the information available to identify the set of model parameters. This model is based on a pre-existing elasto-plastic model developed for soils.

1. INTRODUCTION

Rammed earth is a structure made by compacting moist earth (ie: sand, clay, gravel) between temporary formworks. The formworks are then removed and the rammed earth dries given birth to an extremely strong and long-lasting structure. This construction technique is currently becoming more popular because it meets the requirement of sustainable development, requires low embodied energy for construction and only processes local material. Passed studies showed that rammed earth walls contribute to the inner comfort of the occupants (Windstorm & Schmidt 2013).

However, as no standards exist for rammed earth structures in France, the owners of such structures are helpless at the time when have to repair if damages appear. The national earth building design standards from Australia, New Zealand, USA and Zimbabwe can be helpful to develop a French design standard suitable for the materials and construction building in force on the French territory.

This work is part of a national research project devoted to the study of construction building involving earth. During the project, different experiments were carried out on some representative materials used in France for rammed earth buildings. In this paper, a numerical modelling of these experiments is performed. A hierarchical elastoplastic constitutive law is developed for modeling the behavior of rammed earth. The sophistication of the modelling is related to the information available to identify the set of model parameters. This model derives from an existing model denoted CJS formerly developed in Ecole Centrale de Lyon for granular soils. The basic (first) level of the model, CJS-1 is similar to a Mohr-Coulomb model but with a failure surface that is continuously differentiable. The second level (more complex model) CJS-2, is an elastoplastic model with an isotropic hardening.

2. METHODOLOGY

To reach the goal, this work is based on experiments on rammed earth as reference for model calibration. Here, a compression test on rammed earth, which shows many features of concrete behaviour is used.

2.1 Experiment

The experiment was performed by Champire et al. (2016) in École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE). It corresponds to an unconfined compression test where image processing allowed the axial deformation field to be measured. To validate the measurements, the deformations were also measured by means of non-contact sensors in both the axial and radial directions at sample mid-height. The maximum volumetric contraction state corresponds to a stress roughly equal to $0.85 \cdot f_c$ (f_c being the maximum compression resistance). At this state, the rate of creation of micro-cracks compensates the rate of possible undamaged elastic contraction.

2.2 CJS Model

In this work, a constitutive model for rammed earth was created on the basis of an existing elasto-plastic "CJS" model for soils. CJS stands for Cambou-Jafari-Sidoroff who are the authors of this latter model (Dubujet 1992, Purwodihardjo 2004). The most interesting idea of this model lies in the existence of different levels (sophistication) of the constitutive equations depending on the amount of information available to identify the model parameters. Herein, two basic plastic mechanisms consisting in a tensile and shear yield surface are used. The tensile yield surface is also a failure surface but the shear yield surface can exhibit hardening. In the case of rammed earth, the following constitutive model is proposed for the two levels of modeling CJS-1 and CJS-2.

2.2.1 Elastic mechanism for CJS-1 and CJS-2

The elastic deformations are computed according to Hooke's law:

$$\dot{\epsilon}_{ij}^e = \frac{\dot{S}_{ij}}{2G} + \frac{\dot{I}_1}{9K} \delta_{ij} \quad (\text{eq.1})$$

with S_{ij} is the deviatoric stress tensor and I_1 is the 1st invariant of the stress tensor. Here, the elastic properties (G and K) are taken as constant which leads to a linear elasticity. These elastic parameters that are related to the Young modulus and the Poisson ratio can be identified from a compression test.

2.2.2 Plasticity for CJS-1 and CJS-2

a. Tensile yield surface

$$f^t(\sigma_3) = \sigma_3 - T_r \leq 0 \quad (\text{eq.2})$$

with σ_3 is the minor principal stress and T_r is a model parameter which characterizes the tensile strength of the material. Once σ_3 reaches T_r , tensile failure occurs.

b. Shear yield surface

$$f^d(\sigma_{ij}, R, X_{kl}) = q_{II} h(\theta_q) - R(I_1 + 3T_{r\max}) \leq 0 \quad (\text{eq.3})$$

where:

R = Average radius of the loading surface

I_1 = 1st invariant of the stress tensor

$T_{r\max}$ = Model parameter which characterizes the maximum tensile strength of the material (the apex of the criteria)

q_{II} = Local deviatoric stress between the current state of stress and the center of the yield surface $q_{II} = \sqrt{q_{ij}q_{ij}}$ with $q_{ij} = s_{ij} - I_1 X_{ij}$

s_{ij} = Global deviatoric stress tensor

X_{ij} = Tensor which defines the center of the deviatoric loading surface

$h(\theta_q)$ = Shape factor that allows to take into account the dependency of the behavior with the loading direction

$$h(\theta_q) = (1 - \gamma \cos(3\theta_q))^{1/6} = \left(1 - \sqrt{54}\gamma \frac{\det(q_{ij})}{q_{II}^3}\right)^{1/6}$$

θ_q = Lode angle

γ = Model parameter which quantifies the dissymmetry of the yield surface

c. Isotropic hardening for CJS-2

The shear loading surface can isotropically expand following the hardening law:

$$\dot{R} = A(R_{fail} - R_{ini}) \exp(-Ap) \dot{p} \quad (\text{eq.4})$$

where:

\dot{p} = increment of hardening variable

A = Model parameter which controls the velocity of the isotropic hardening

R_{fail} = Model parameter which limits the evolution of R

R_{ini} = Initial elastic radius

2.2.3 Reference states for CJS-1 and CJS-2

There are two reference states that can make sense for rammed earth: the peak of resistance and the maximum volumetric contraction state. The corresponding surfaces are isotropic surfaces, hold the same shape (together with the shear yield surface) and are written:

$$f^{mvc} = s_{II}^{mvc} h(\theta_s) - R_{mvc} (I_1 + 3T_{rmax}) \leq 0 \quad (\text{eq.5})$$

$$f^{fail} = s_{II}^{fail} h(\theta_s) - R_{fail} (I_1 + 3T_{rmax}) \leq 0 \quad (\text{eq.6})$$

with R_{mvc} and R_{fail} the average radii of the maximum volumetric contraction surface and of the failure surface respectively.

2.2.4 Volumetric deformations for CJS-1 and CJS-2

Plastic deformations in CJS model associated to the shear mechanism are controlled by the dilatancy law:

$$\dot{\epsilon}_v^{dp} = \beta \left(\frac{s_{II}}{s_{II}^{mvc}} - 1 \right) \frac{|s_{ij} \cdot \dot{\epsilon}_{ij}^{dp}|}{s_{II}} \quad (\text{eq.7})$$

In which:

β = dilatancy rate

s_{II}, s_{II}^{mvc} = current state and maximum contraction state, 2nd invariants of the stress tensor

$\dot{\mathbf{e}}_{ij}^{dp}$ = the incremental plastic deviatoric strain tensor

The dilatancy law allows contractive or dilative plastic volumetric deformations to be generated according to the position of the stress state with respect to the maximum volumetric contraction state. Here dilatancy is mainly related to a structural increase of volume due to the opening of cracks. When high dilatancy rate is generated the material cannot be considered as a continuum material anymore. The model is then not supposed to retrieve this feature.

3. NUMERICAL SIMULATION

3.1 Unconfined compression test

An axisymmetry model of the specimen was used for the simulation. For the sake of simplicity, the model was just composed of 1 grid with an axisymmetry state of stress. The compression is applied as a rigid body motion with a velocity of 0.02 $\mu\text{m/s}$.

3.2 Identification of model parameters

The basic level of sophistication for the model presented here before and denoted CJS-1, involves 7 parameters. In fact, from the different experiments analysed and due to the less significance of the volumetric deformations in the behavior of the material, we will state that $R_{mvc} = 0.85 * R_{fail}$. The elastic properties are defined as the initial tangential properties of the experimental stress-strain curves. The parameters related to the deviatoric plastic mechanism (γ and R_{fail}) can be determined directly from compression and tensile actual tests. If the tensile test is not available the usual relationship between the maximum uniaxial compression f_c resistance and maximum uniaxial tensile resistance f_t (or T_r in CJS model) can be used: $f_t = f_c / 10$. Finally, the dilative volumetric behavior is controlled by dilatancy rate β which can be derived from the results of the volumetric deformation curves. The set of model parameters for CJS-1 is given in Table 1.

The simulation is extended to the use of CJS-2. For this level of modeling, plasticity is created before reaching failure which allows stresses to be relaxed. It leads to a softer behavior than with CJS-1. This model involved 2 new parameters, the initial elastic radius R_{ini} of the shear yield surface which gives the extent of the elastic domain and the isotropic hardening parameter A . R_{ini} can be identified from a compression test as the zone where a linear behavior is observed and A is determined by a trial-and-error method. The set of model parameters for CJS-2 is also given in Table 1.

Table 1. Model parameters

No.	CJS-1		CJS-2		Domain
1.	$G =$	2000 MPa	$G =$	2000 MPa	Elasticity
2.	$K =$	3333 MPa	$K =$	3333 MPa	
3.	$\beta =$	3.0	$\beta =$	3.0	Plasticity
4.	$\gamma =$	0.894	$\gamma =$	0.894	
5.	$R_{fail} =$	0.27	$R_{fail} =$	0.27	
6.	$T_r =$	400 kPa	$T_r =$	400 kPa	
7.	$T_{max} =$	1.45 MPa	$T_{max} =$	1.45 MPa	
8.			$R_{ini} =$	0.05	
9.			$A =$	0.0002	

4. RESULTS

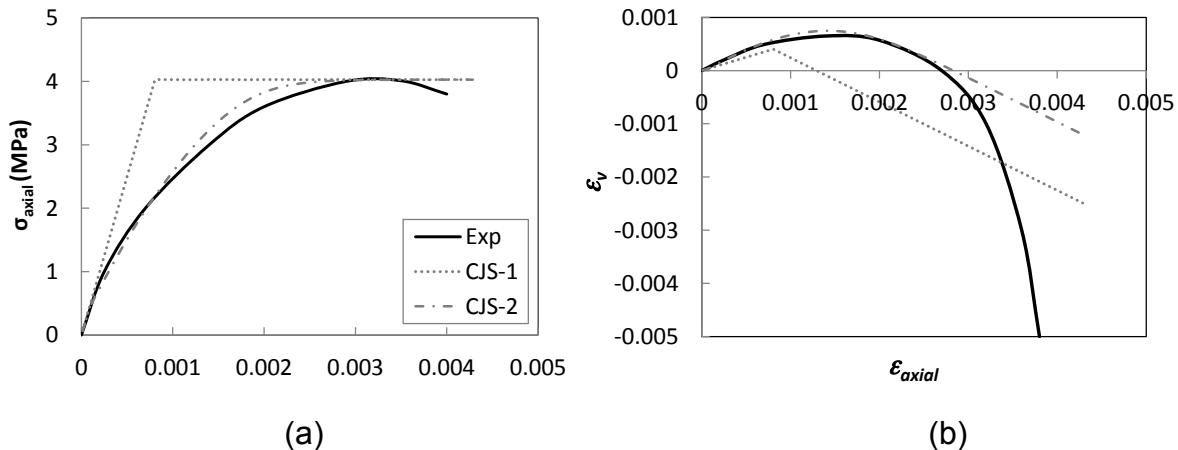


Figure 1. Comparison between experiments and simulations with CJS-1 and CJS-2

The results of the simulated unconfined compression test STR are shown in Figure 1a and Figure 1b. The initial tangent of the stress curve and the peak of response have been retrieved correctly but the behavior is generally too stiff compared to experiments. Figure 1a shows that the use of a simple elastoplastic models (CJS-1) generates an early dilation due to a bad stress path. Then, simulations were performed using CJS-2. In Figure 1a, this second level of the model has been able to capture the nonlinear behavior before reaching failure. The analytical form of the isotropic hardening function which is exponential was suitable to reflect the non linear behavior of rammed earth. The deformation path shows contractive behavior until axial strain 0.15% before the system dilates. However, very sharp dilation cannot be retrieved as in the experiments, but this feature was expected since the actual material cannot be considered as a continuum material anymore.

One must remind that only 7 parameters are required for CJS-1 model: 2 elastic parameters, 4 plastic parameters, and 1 parameter for the description of the volumetric deformations. Then for CJS-2, 9 parameters must be identified. Compared to CJS-1, just one further parameter in CJS-2 (A) requires some effort for its identification since it requires a trial-and-error method.

5. CONCLUSION

In this paper, an elastoplastic plastic model for studying the behaviour of rammed earth has been presented. The model is validated using a compression test performed on an actual material. The simple elasto plastic model CJS-1 was able to capture some basic features and requires the identification of 7 parameters. The more sophisticated model CJS-2 (9 parameters) was found better to retrieve the non linear behavior of rammed earth. However, further effort is required for the description of the cyclic behavior, a damaged elasticity similar to the case of concrete will have to be implemented in a further level of modeling CJS-3.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the French Research program ANR-12-VBDU-0001-06 funded by the National Agency of Research (ANR). The author expresses their gratitude for the financial support from ANR.

BIBLIOGRAPHY

Champire F., Fabbri A., Morel JC., Wong H., and McGregor F. (2016). *Impact of relative humidity on mechanical behaviour of compacted earth for building constructions*, Construction and Building Materials, 110, 70-78.

Dubujet P. (1992). *Modélisation du comportement cyclique des argiles*, PhD thesis, Ecole Centrale de Lyon.

Michel P., & Poudru F. (1987). *Le patrimoine européen en terre et sa réhabilitation*, ENTPE (edt), p. 587.

Purwodihardjo A. (2004). *Modélisation des déformations différées lors du creusement des tunnels*“ PhD thesis, École Centrale de Lyon.

Windstorm B., and Schmidt A. (2013). *A report of contemporary rammed earth construction and research in North America*. Sustainability”, 5(2):400-416.

AUTHORS

Winarputro Adi RIYONO

Winarputro Adi RIYONO was born in Purwokerto, Indonesia, in 1982. He received his Master degree in civil engineering from the University of Indonesia in 2007. In 2010, he joined the Ministry of Public Works – Republic Indonesia. Currently, he pursues a Doctoral degree in Ecole Centrale de Lyon on the modelling of rammed earth structures.

Jean Patrick PLASSIARD

Dr. Jean-Patrick Plassiard is assistant professor in the University of Savoy Mont Blanc. He has developed researches on the static and dynamic behavior of structures including reinforced concrete, rammed earth and masonry focusing on the modeling of their non linear behavior under extreme loadings.

Eric VINCENS

Dr. Eric Vincens is associated professor in Ecole Centrale de Lyon. He has developed research which aims to better understand and model the behaviour of granular soils and geotechnical works including dykes, dams but also masonry structures. As such, he is a member of the Geotechnical Risk and Safety Commission of Lyon.



The role of adobes in the thermal performance of vernacular dwellings

Aimilios MICHAEL, Maria PHILOKYPROU, Stavroula THRAVALOU, Ioannis IOANNOU

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Adobe walls are considered to be high thermal mass structures, as they have the ability to store thermal energy. In order to evaluate the thermal inertia of adobes, the delay of the thermal heat wave propagation and the ratio of the reduced temperature of the external to the internal surface are normally investigated; these are expressed by the dynamic indicators of time lag and decrement factor respectively. The present study employs in situ temperature monitoring of a 50 cm thick adobe wall with probes installed at various locations along its thickness. The results are analysed in terms of existing standards and numerical equations. The measured time lag for a period of 24 hours is thus estimated at approximately 5 hours. However, the discussion brings light to the discrepancy between calculated and measured time lag data and raises the issue of evaluating the time lag for massive adobe walls in a longer time range.

1. INTRODUCTION

Passive solar systems are among the most widespread environmental design strategies adopted in vernacular architecture. The thermal inertia of adobe walls, in particular, contributes to a delay of heat transmission (Asan 2006) and to a restriction of temperature deviations between the external and internal surfaces of the building envelope, thus establishing more stable indoor thermal conditions.

The effectiveness of thermal mass as an environmental design strategy depends on a series of parameters, such as the orientation of the building, the type of ventilation, the location and distribution of the thermal mass in the building envelope and the solar absorptivity of the wall surface (Kontoleon and Eumorfopoulou 2008, Santamouris and Asimakopoulos 2013). In order to evaluate the thermal inertia effect, two dynamic indicators are widely used: the time lag and the decrement factor. The time lag depicts the heat transmission delay, i.e. the time needed for the heat wave of a specific period to propagate from the outdoor to the indoor surface of a wall. The decrement factor evaluates the heat storage capacity of a wall and represents the ratio of the decrease of the amplitude of the thermal wave during heat transmission. A series of research studies focused on the estimation of the time lag and the decrement factor for adobes with the use of numerical methods (e.g. Asan 2006, Saldivar and Batty, 2006). The present paper focuses on the in situ monitoring of the temperature along the thickness of an adobe wall, thus offering a real-time evaluation of the aforementioned dynamic indicators.

2. METHODOLOGY

For the purposes of this research, a 50 cm thick adobe wall, which constitutes part of the south façade of a vernacular building in the village of Kapedes, Cyprus, was monitored. This wall is considered to be representative of the vernacular earthen architecture of Cyprus. Temperature probes were installed sideways at various locations along the thickness of the aforementioned adobe wall (Fig. 1). The temperature sensors were nickel alloy type K thermocouples connected to a multi-channel data logger (PicoLog TC-08). Good adhesion of the sensors to the wall was ensured through the use of re-usable adhesive, preventing thermal bridging.

The properties of thermal conductivity (λ) and specific heat capacity (C_p) of the wall adobes were also measured using ISOMET 2104 (Applied Precision Ltd.). Thermal diffusivity (α) was further calculated as a function of the above properties and density (ρ), according to the following equation:

$$\alpha = \lambda / \rho C_p \quad (1)$$

The time lag (φ) and decrement factor (f), were calculated using the following numerical equations proposed by Asan (2006):

$$\varphi = \begin{cases} \tau(T_{si_max}) - \tau(T_{se_max}) & \text{for } \tau(T_{si_max}) > \tau(T_{se_max}) \\ \tau(T_{si_max}) - \tau(T_{se_max}) + P & \text{for } \tau(T_{si_max}) < \tau(T_{se_max}) \\ P & \text{for } \tau(T_{si_max}) = \tau(T_{se_max}) \end{cases} \quad (2)$$

$$f = \frac{A_{si}}{A_{se}} = \frac{T_{si_max} - T_{si_min}}{T_{se_max} - T_{se_min}} \quad (3)$$

Where $\tau(T_{si_max})$ and $\tau(T_{se_max})$ represent the time when the interior and exterior surface temperatures respectively reach their peak value, within a period P of 24 hours.

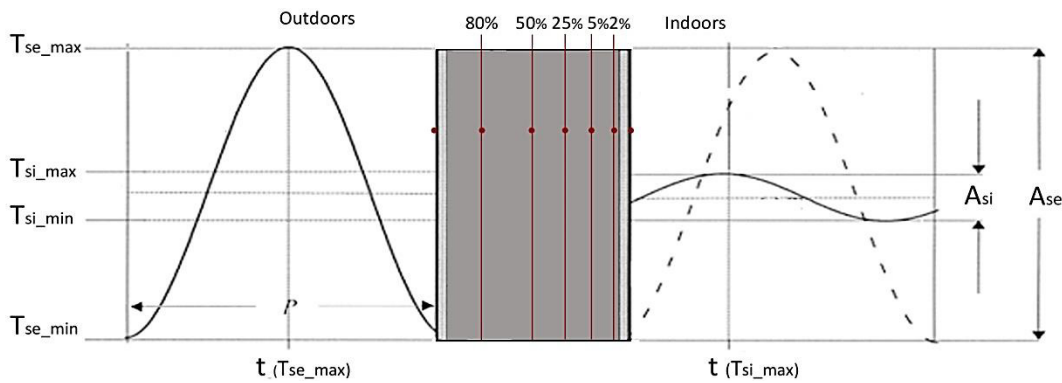


Fig. 1: Heat flux phenomenon and points of temperature recording on the adobe wall.

For comparative reasons, the aforementioned dynamic indicators (i.e. time lag and decrement factor), were also calculated according to EN ISO 13786, following the thermal admittance framework. Moreover, the numerical equation of time lag, in relation to the specific heat capacity (C_p), density (ρ) and material thickness (L), used by Rafidiarison et. al. (2012) was also used.

For recording the external environmental conditions, a weather station was installed on the roof of the building under investigation. Interior air temperature and humidity levels were also recorded. Selected results from the summer period of 2013 (July and August) and the winter period of 2014 (February) are hereby presented and discussed. The building was not occupied during the experimental period and thus the air exchange rate was limited. During the period of July 2013, night ventilation was applied with windows remaining open between 19.30-06.30 (a period during which the outdoor temperature was lower than the indoor temperature).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The average values and standard deviation of the dynamic indicators obtained during the aforementioned selected periods, calculated according to Asan (2006), are summarised in Table 1. Asan (2006) states that, for wall thickness beyond 50 cm, the decrement factor remains stable and close to zero. This is in line with the results

reported in Table 1; the decrement factor is below 0.05 for both summer and winter periods, indicating high thermal stability in the interior environment.

Periodic swings of the environmental temperature during a period of 24h generate a heat wave that flows through the thickness of a wall, from the outside to the inside. The depth of penetration of the diurnal heat wave depends mainly on the thermal diffusivity of the wall material. The heat flux through the adobe wall under investigation in this study was examined through a detailed representation of the temperature fluctuation within the wall (Fig. 2) for a period of 24 hours. From the results, great thermal stability is noticed at all monitoring positions from 50% onwards. In the contrary, the monitoring position of 80% presents a wider fluctuation of temperature, as it is affected directly from the temperature levels on the exterior surface. The south orientation of the wall under investigation, and consequently the high solar radiation imposed on it, explains the wide temperature fluctuations observed on the external wall surface, despite the fact that the temperature fluctuation of the external environment is much smaller (ca. 8°C) (Table 2).

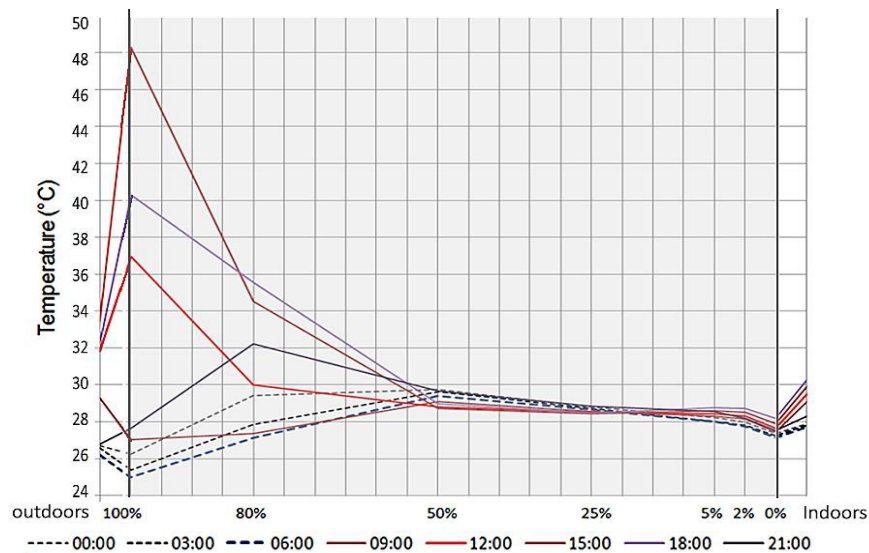


Fig. 2: Section of the wall with corresponding hourly temperature values recorded on 24/07/2013.

Table 2 presents the time and corresponding values of minimum and maximum temperature recorded during the summer period of July 2013, when night ventilation was applied. As observed, maximum internal surface temperatures (T_{si_max}) occurred around 20.00h, while maximum external surface temperatures (T_{se_max}) occurred around 15.00h. This indicates a time lag of approximately 5 hours within a period of 24 hours and it is in line with the results calculated according to Asan (2006) (Table 1). It is worth noting that, results for specific days present higher or lower time lag values, depending on particular weather conditions i.e. wind velocity, solar radiation, air humidity, rapid temperature change etc.

Table 1: Average and standard deviation of experimental time lag and decrement factor.

Period	Time lag ϕ (h)	SD	Decrement factor f (-)	SD
24/07/2013 - 30/07/2013	05:09	00:17	0.040	0.007
26/08/2013 - 31/08/2013	05:40	01:40	0.015	0.004
04/02/2014 - 13/02/2014	05:28	01:14	0.008	0.002

Table 2: Time and value of maximum and minimum temperature levels recorded.

Time and value of maximum temperature levels																		
Date	80%		50%		25%		5%		2%		Int. Surface		Ext. Surface		Indoor Air		Outdoor Air	
2013	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.
24-Jul	17:05	35.8	00:05	29.8	20:35	28.9	19:40	28.9	19:40	28.9	19:40	28.3	14:35	49.3	18:30	30.4	13:15	33.8
25-Jul	17:20	36.4	23:30	29.8	23:30	28.9	19:35	28.9	19:45	28.8	19:50	28.4	15:00	51.4	19:40	30.5	12:50	33.3
26-Jul	17:15	36.3	23:55	30.1	23:55	29.1	20:05	29.2	19:45	29.1	19:50	28.7	14:35	51.4	12:55	30.8	17:00	34.3
27-Jul	17:15	36.2	01:00	30.1	00:00	29.2	19:40	29.2	19:40	29.2	19:50	28.7	14:45	51.3	18:50	30.8	14:35	34.1
28-Jul	17:00	35.7	00:50	30.1	00:50	29.2	19:45	29.1	19:40	29.0	19:40	28.5	14:40	50.7	19:30	30.7	15:00	32.8
29-Jul	17:10	35.8	00:25	29.9	00:25	29.0	22:45	28.9	19:40	28.9	20:15	28.3	14:35	51.2	17:55	30.4	15:40	31.8

Time and value of minimum temperature levels																		
Date	80%		50%		25%		5%		2%		Int. Surface		Ext. Surface		Indoor Air		Outdoor Air	
2013	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.	Time	Temp.
24-Jul	06:55	27.01	14:20	28.71	14:55	28.4	06:15	28.0	05:55	27.7	05:50	27.1	06:20	24.9	01:55	27.7	01:05	25.8
25-Jul	07:05	27.06	14:40	28.73	15:15	28.5	02:20	28.0	01:35	27.8	02:05	27.2	06:25	24.9	01:05	27.4	20:50	25.2
26-Jul	07:25	27.28	14:10	28.98	16:00	28.8	00:55	28.4	00:00	28.2	00:00	27.7	06:15	25.2	00:00	28.4	00:55	26.4
27-Jul	07:00	26.83	14:35	29.01	16:15	28.8	01:45	28.7	02:00	28.5	05:40	27.9	05:40	24.1	01:35	28.7	23:55	26.8
28-Jul	07:40	26.59	14:50	28.88	17:35	28.7	06:20	28.5	06:15	28.2	06:00	27.5	06:15	24.3	06:05	28.1	01:30	26.4
29-Jul	07:30	26.42	14:40	28.65	16:05	28.5	06:15	28.2	06:10	27.9	06:00	27.3	06:10	24.3	04:05	27.9	22:00	24.3

The in situ time lag results are, nevertheless, not consistent with the values given by calculations under sinusoidal boundary conditions (Table 3); these results are significantly higher and reach approximately 19 hours within a period of one day. Simple calculation methods describe the response of adobes to a periodic (sinusoidal) thermal ‘forcing’ of a heat flow by radiative, conductive heat transfer processes and internal convection within the pores of the wall material. These calculations are therefore based on the properties of the specific adobe material found on the wall under investigation (Table 4) and use the conventional heat transfer coefficients for the surface resistance according to EN ISO 6946, neglecting the effect of air humidity or heat transport by air flow. Cole and Sturrock (1977) provided one of the earliest reviews on the number of parameters affecting convective heat exchange coefficients in the exterior surfaces, pointing out the difficulty and importance of their estimation when in situ measurements are taken into account. Other researchers also point out the discrepancy between theoretical thermal inertia indicators and experimental values, because of the non-sinusoidal boundary conditions of the in situ values and the effects of wetting due to rain and of adsorption-desorption of water vapour due to changes in relative humidity (e.g. Gasparella et.al. 2011, Rees et. al. 2001).

Table 3: Calculation of time lag and decrement factor under sinusoidal boundary conditions

Method of calculation	Period P (hours)	Time lag ϕ (hours)	Decrement factor f (-)
ISO 13786	24	19.62	0.04
	72	30.60	0.30
$\frac{24L\sqrt{\rho\pi C_p}}{2\pi\sqrt{24\lambda 3600}}$	24	18.4	
	72	31.9	

Table 4: Thermal properties of adobe material

Density ρ_b (kg/m ³)	1405
Thermal conductivity λ (W/mK)	0.50
Specific heat capacity Cp[J/(kg·K)]	996
Thermal diffusivity a (m ² /s)	3.57x10 ⁻⁷

It is worth noting that, the time period for the thermal forcing is usually considered to be 24 hours. However, for high mass structures, larger periods can be considered. The diagram of hourly distribution of temperature in Fig.3 depicts the temperature flux through the wall under investigation, at all monitoring locations, for a period of 3 days in July 2013. During that period, a radical fall of the indoor air temperature is noticed every day at 19.30h, when ventilation is applied; this also affects the sensors located at 2% and 5% of the wall depth. The temperature at 25% and 50% monitoring locations remains rather stable. Yet, a closer observation of the diagram in Fig. 3 can raise an interesting discussion on the value of time lag. If we keep track of the time when the maximum temperature occurs, starting from the external surface towards the interior, the following is observed: $\tau(T_{se_max}) \approx 15.00$, $\tau(T_{s80\%_max}) \approx 17.00$, $\tau(T_{s50\%_max}) \approx 00.00$, $\tau(T_{s25\%_max}) \approx 00.00$; however $\tau(T_{s5\%_max})$ and $\tau(T_{s2\%_max})$ occur at around 20.00. The correspondence of the time when the heat wave hits every position during the 3-day period under investigation can lead to the argument that $\tau(T_{si_max})$ corresponds to the peak observed on the following day (i.e. time lag ca. 29 hours). This observation is in line with the results reported in Table 3. Baggs and Mortensen (2006) suggest that a 25 cm thick adobe wall presents a time lag of 9.2 hours. Andreadaki (2006) mentions a time lag of 8.1 hours for a 30 cm thick adobe wall, while for the same wall thickness Asan (2006) mentions a time lag of 8.84 hours. Houben and Guilaud (1994) refer to a range of 12.3 to 13.7 hours of time lag for a 40 cm thick adobe wall. Considering the linear correlation of wall thickness and time lag values, the in homogeneity of adobes per se and the in situ measurement conditions (e.g. presence of moisture), the literature review reveals adequate correspondence with the research findings reported here.

4. CONCLUSIONS

The high time lag (≥ 5 hours) and low decrement factor (< 0.05) values recorded in this paper confirm the thermal stability in the indoor environment of adobe structures. The time lag values calculated according to the equations introduced by Asan (2006) for a period of 24 hours are significantly lower than respective values calculated according to numerical methods under sinusoidal boundary conditions. Furthermore, the in situ data for a 3-day monitoring period also suggest time lag values exceeding 5 hours. This is in line with other studies mentioned in the literature and points towards the need for the evaluation of the time lag of massive adobe walls taking into account longer periods of time.

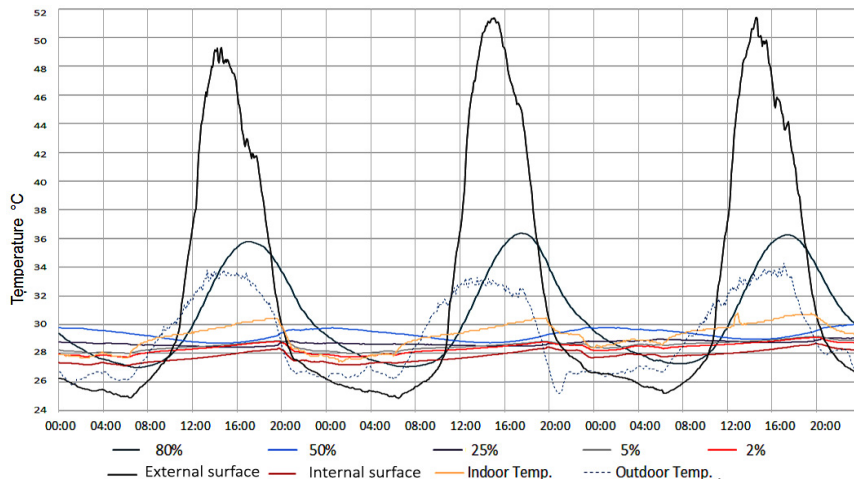


Fig. 3: Hourly temperature distribution in all sensor locations during 3 days in July 2013.

REFERENCES

- Andreadaki, E. (2006). Bioclimatic design. Environment and sustainability. Thessaloniki: University Studio Press.
- Asan, H. (2006). Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials. *Building and Environment*, 41(5), p.615-620.
- Baggs, D.W., & Mortensen, N. (2006). Thermal mass in building design. *Environment design guide*. Melbourne: Royal Institute of Australian Architects and Australian Council of Building Design Professions Ltd.
- Cole, R. J., & Sturrock, N. S. (1977). The convective heat exchange at the external surface of buildings. *Building and Environment*, 12(4),p. 207-214
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. London: Intermediate Technology Publications.
- Gasparella, A., Pernigotto, G., Baratieri, M., & Baggio, P. (2011). Thermal dynamic transfer properties of the opaque envelope: Analytical and numerical tools for the assessment of the response to summer outdoor conditions. *Energy and Buildings*, 43(9), 2509-2517
- Rafidiarison, H., Mougel, E., & Nicolas, A. (2012). Laboratory experiments on hygrothermal behaviour of real scale timber walls. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 14(3), p. 389-401.
- Santamouris, M., & Asimakopoulos, D., N. (2013). *Passive cooling of buildings*. New York: Earthscan
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2008). The influence of wall orientation and exterior surface solar absorptivity on time lag and decrement factor in the Greek region. *Renewable Energy*, 33(7), p. 1652-1664.
- Parra-Saldivar, M. L., & Batty, W. (2006). Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, 41(12), p. 1892-1904.
- Rees, S. W., Zhou, Z., & Thomas, H. R. (2001). The influence of soil moisture content variations on heat losses from earth-contact structures: An initial assessment. *Building and Environment*, 36(2), p.157-165.

BIOGRAPHY

Aimilios Michael is a Lecturer in the Department of Architecture at the University of Cyprus and the Director of Energy & Environmental Design of Buildings Research Laboratory. His research activities take an interdisciplinary view and focus on the areas of Energy and Environmental Design of Buildings and Advanced Architectural Technology.

Maria Philokyprou is an Assistant Professor in the Department of Architecture at the University of Cyprus. Her main research interests cover the field of conservation and vernacular architecture and focus on traditional building materials and methods of construction, the preservation and promotion of architectural heritage and the environmental features of vernacular architecture.

Stavroula Thravalou is a research assistant and Ph.D. student in the Department of Architecture at the University of Cyprus. Her research focuses on the assessment of bioclimatic design elements of vernacular architecture, as well as on the impact of occupants' behaviour on thermal comfort, focusing on natural ventilation practices.

Ioannis Ioannou is an Associate Professor in the Department of Civil and Environmental Engineering at the University of Cyprus and a Senior Member of RILEM. His main research interests focus on the physicochemical and mechanical characterization of geomaterials and composite building materials, including adobe bricks.



Shear Test Procedure for Rammed Earth

Abhilash HOLUR NARAYANASWAMY, Jean-Claude MOREL, Antonin FABBRI

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Abstract / Summary

With growing awareness of sustainable construction, use of rammed earth and study of its mechanical parameters are proven vital. Rammed earth behaviour under lateral load and shear strength parameters plays an important role in protecting and designing new structures. Considering shear strength as a vital parameter, this paper introduces an experimental approach to study the shear strength parameters of the rammed earth wall interface. Customised wedges with different inclination are used to induce shear and normal force on the samples, and digital image correlation method was adopted to measure the displacement of samples using VIC-3D tool. Along with the shear strength of the rammed earth samples this paper presents the cohesion and angle of internal friction of the rammed earth interface under bi-directional loading. These parameters will be of helpful in understanding the behaviour of the rammed earth wall under lateral loads.

Introduction

Rammed earth technology in building construction is an ancient methodology (Jaquin 2011), which has reinstated as a locally available and sustainable construction material and researchers around the globe are investigating its mechanical parameters (Araki, Koseki, and Sato 2011; Q. Bui et al. 2014; Hall and Djerbib 2004; Maniatidis and Walker 2008) to understand and promote its usage in rapidly growing construction industry. Along with compressive characteristics, it is very important to understand the shear parameters which play a vital role in failure under lateral loading. Since rammed earth is a layered structure study of interface behaviour is critical (Bui and Morel 2009; Cheah et al. 2012; Silva et al. 2014) to understand rammed earth wall under lateral loading. In this study, the surface deformation of the material is measured using Digital image correlation (DIC) method, which is been widely accepted to measure surface deformation of materials (Pan et al. 2009; Sutton et al. 1983) (T.-T. Bui et al. 2014). This method uses the speckle pattern images captured during loading to calculate the deformation and thus eliminates the usage of extensometer or strain gauges that to be attached on the specimen surface.

Specimen Preparation & conditioning

The soil chosen for manufacturing test specimens are extracted from the construction site in cras-sur-reyssouze, Ain, France. Weighed soil (prepared) was mixed at 10% water by weight of the soil and stored in an air tight plastic bag for 24 hours to obtain moisture equilibrium. Using weigh batching, known quantity of soil per layer was manually rammed in a formwork until the layer thickness of 60mm (+2mm) is achieved. Specimens of dimension 208mmx120mmx120mm & 120mm cube (Figure 1) were manufactured for testing at 30° & 45° inclinations respectively. Specimens were stored in a climate controlled room at 25°C and 50% relative humidity for about 25 days, the average moisture present in the specimen during testing was about 2%.

Experimental procedure

Wedge Design

The shearing properties of the interface can be studied by applying the biaxial loading to the interface by varying specimen angle of inclination. In order to induce biaxial load, two set of metallic wedges (shown in Figure 2) were designed, such that the specimen layer inclination (θ) with the vertical axis of the loading press is at 30° and 45°. Each set has an

identical bottom and top wedge with width of 120mm. Wedges are designed such that, when specimen is positioned, top layer of the specimen is fixed and the incremental load is applied from bottom without blocking the layer movement.

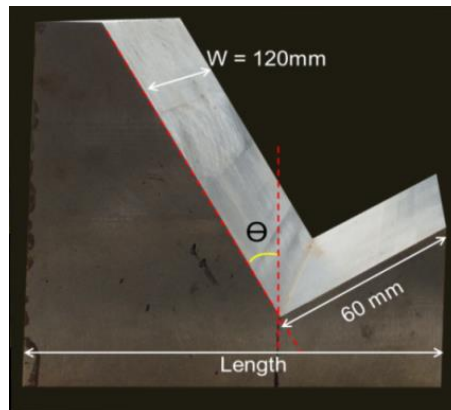


Fig.2

Experimental Procedure

Specimen surface Preparation

Specimen surface undulation has to be levelled so as to establish a good contact between specimen and wedge. Before preparing speckle pattern, any dust or loose particle present on the specimen surface should be removed using a soft brush. Well distributed random speckle pattern are marked on the prepared surface by using black coloured spray. Speckle pattern should be as fine as possible without any dark spots to ensure more subset within the area of interest (AOI), which yields more accurate correlation of analysis.

Camera positioning

Specimen is positioned in between the wedges ensuring symmetry on vertical axis with speckle pattern facing cameras. Cameras are then oriented in line with the specimen testing angle, such that the optical x-axis is parallel to specimen interface as shown in Figure 3. By illuminating additional light source on specimen surface, camera aperture is adjusted until the ideal brightness is achieved. Cameras connected to VIC-3D system are calibrated by capturing images of the calibration gird (Figure 4) at different orientation, which is positioned in front of the specimen AOI surface, a minimum of 10 images per surface are captured for calibration process.

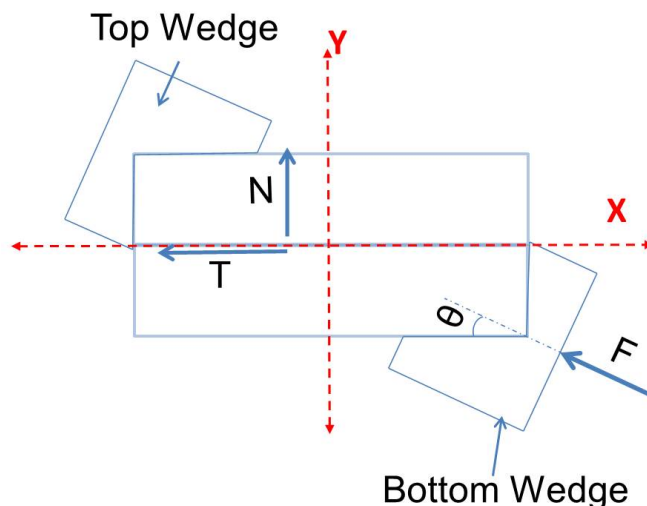


Fig. 3

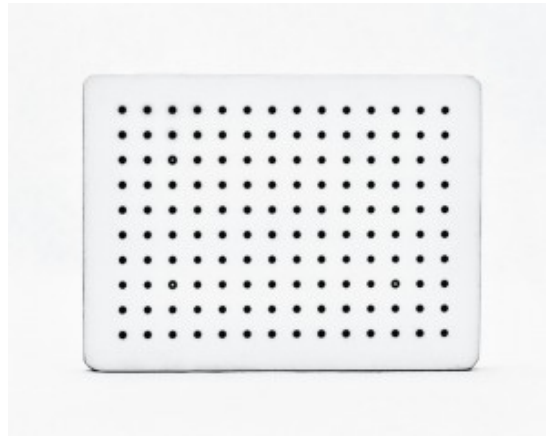


Fig. 4

Loading

Loading of specimen is initialized by defining VIC-3D software to capture an image per second until rupture. Considering low strength of unstabilised rammed earth, loading of the test is programmed at a constant displacement rate of $5\mu\text{m/s}$. Force per image is recorded in the VIC-3D system through analog data transfer.

The failure load [F] obtained from the test is resolved to calculate the maximum shear force [T] and normal force [N] acting on the specimen as shown in Figure 5: Resolution of forces on the specimen interface.

$$T = F \cos \theta, N = F \sin \theta, \tau = TA, \sigma_n = NA$$

F = Force [N], T = Shear Force [N], N = Normal Force [N], θ = Inclination angle of force with respect to interface, A = Area of Interface [mm^2], τ = Shear Stress [MPa], σ_n = Normal Stress [MPa].

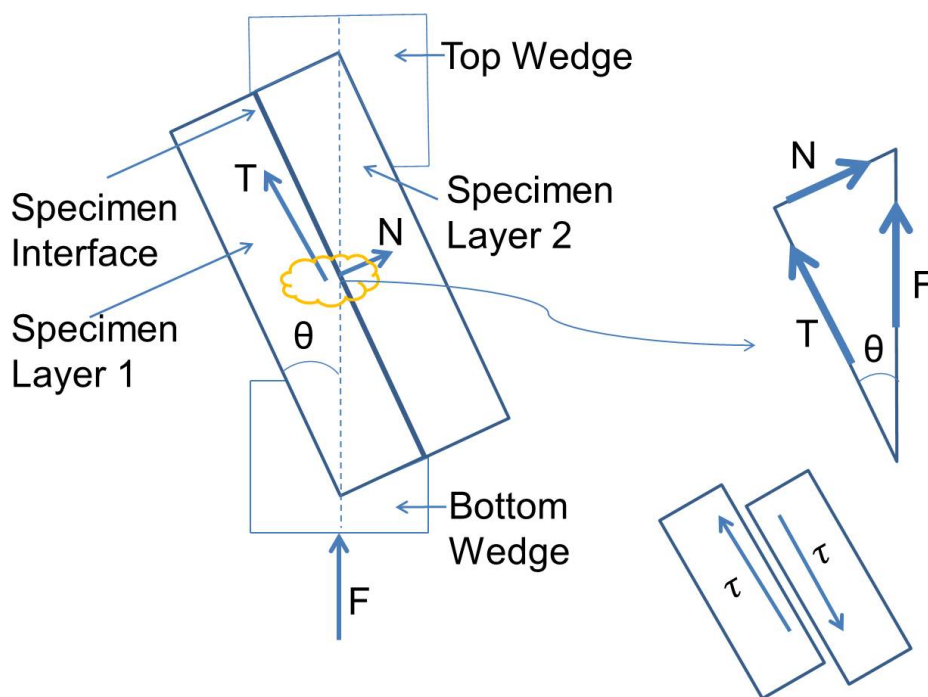


Fig. 5

Digital image correlation

Surface displacement of the specimen is calculated by correlating the speckle images captured during the test with respect to the reference image using VIC 3D tool. As default, VIC 3D considers optical view coordinate (Figure 3) as the reference for correlating speckle pattern to process displacement in 'u' and 'v' directions. In this analysis, surface displacement is calculated by defining fixed boundary condition as shown Figure 6. Within the AOI the inspection rectangles P1, P2, P3 & P4 are defined to investigate the displacement of the material within the inspection area.

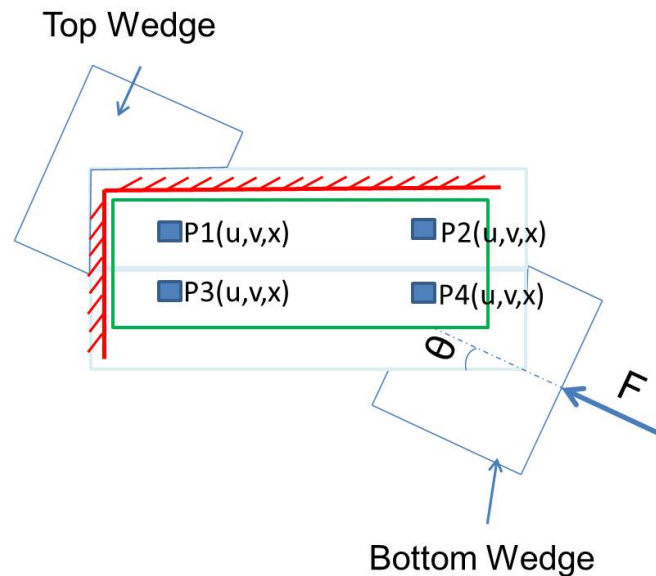


Fig. 6

Results & Discussion

Shear strength of interface

The failure load of the interface is resolved into shear force and normal force, the average failure shear stress of the specimen tested at 30° inclination was calculated to be 0.13MPa for average failure normal stress of 0.07MPa, and at 45° inclination it is 0.86MPa. The shear strength of the unstabilised rammed earth wallet tested in diagonal compression test was found to be 0.7MPa (Silva et al. 2014), the failure reported is combination of diagonal failure and interface delamination. Whereas the failure observed in this test is due to delamination of the interface under pure shear.

The shear strength of the soil tested at 45° was found to be 33% of the compressive strength (cylindrical specimen) of the soil tested with same density, whereas the shear strength found in diagonal shear test (Silva et al. 2014) was 19% of the compressive strength of similar wallet. The difference in correlation between two studies may be attributed to change in dimension of the specimen, and also it should be noted that, in this study only interface delamination is studied unlike multi-layered specimen tested by (Silva et al. 2014).

Six specimens (three in each inclination) were tested and its failure stress are plotted to draw the coulomb's failure line (shown in Figure 7), from coulomb failure line cohesion of the unstabilised rammed earth interface was found to be 55kPa with angle of internal friction as 43° . The results fall in close agreement with the investigation of (Corbin and Augarde 2015) for unstabilised rammed earth specimens using direct shear test in which

the cohesion and angle of internal friction was reported to be around 30-90kPa and 39°-68° respectively.

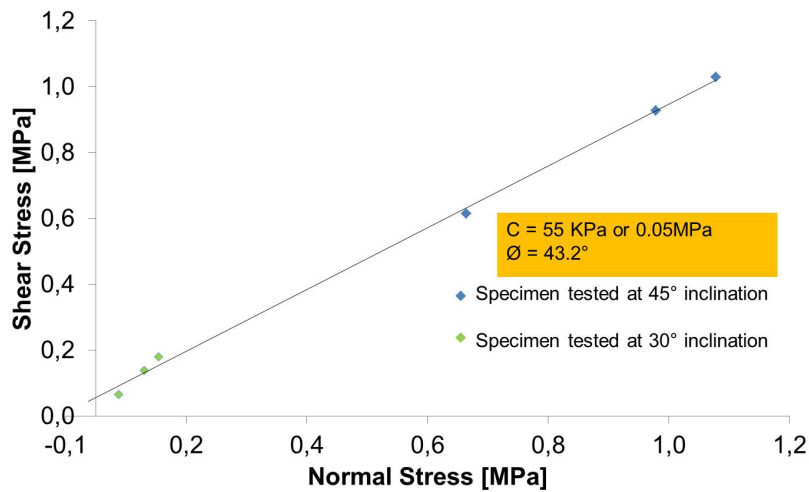


Fig. 7

Shear modulus of interface

Shear strain calculated from the displacements extracted using VIC 3D software are plotted against the respective shear stress. An example of the shear stress stain graph is shown in the Figure 8. The shear strain on each surface is calculated and the average shear strain of both the surface is considered as the interface shear strain. The slope of the best fit linear line is taken as the shear modulus of the material. The average shear modulus of the material at 30° & 45° inclination is found to be 205MPa & 292MPa.

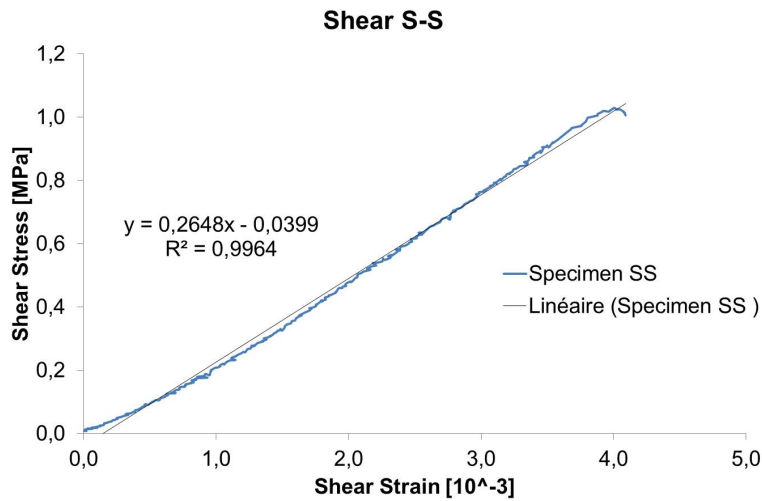


Fig. 8

Conclusion

Shear strength of the rammed earth structures is vital, considering the layered structure, interface shear strength parameters plays crucial role in understanding the behaviour of unstabilised rammed structure under lateral loads. In this paper, an experimental approach using inclined wedges to subject specimens under bi-directional loading is presented. From experiment, it was also found that the interface shear strength is 33% of the compressive strength. The advantage of this approach is that, it reduces the specimen size and uses a classical device in simple axial compressive press to induce both shear

and normal load. In this study, DIC is adopted to study the strain fields of the specimen to calculate the shear modulus. Along with the shear strength of the interface, this approach enables to calculate cohesion and angle of internal friction of the interface, which are found to be 55kPa and 43° for the soil tested. This experimental procedure would be extended to test specimens with different moisture content, to observe the influence of moisture content and also at more inclinations to plot coulomb's failure envelope.

Acknowledgement

The authors wish to acknowledge Indo- French Centre for the Promotion of Advance Research (IFCPAR/CEFIPRA) for providing financial support through the project 4608-1 and the support of French Research National Agency (ANR) through the "Villes et Bâtiments Durables" program (project PRIMATERRA no. ANR-12-VBDU-0001). The authors would also thank Mr. Stephane Cointet from ENTPE for technical support to experimental work.

Reference

- Araki, Hiroyuki, Junichi Koseki, and Takeshi Sato. 2011. "GEO-MATERIALS USED FOR CONSTRUCTING EARTHEN WALLS." *Bulletin of ERS* (44).
- Bui, QB, and JC Morel. 2009. "Assessing the Anisotropy of Rammed Earth." *Construction and Building Materials* 23(9):3005 - 11. Retrieved March 29, 2013 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.04.011>).
- Bui, Quoc-bao, Jean-claude Morel, Stéphane Hans, and Peter Walker. 2014. "Effect of Moisture Content on the Mechanical Characteristics of Rammed Earth." *Construction and Building Materials* 54:163 - 69.
- Bui, T. T., Q. B. Bui, a. Limam, and S. Maximilien. 2014. "Failure of Rammed Earth Walls: From Observations to Quantifications." *Construction and Building Materials* 51:295 - 302. Retrieved February 24, 2014 (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061813009744>).
- Cheah, Jing Siong John, Peter Walker, Andrew Heath, and Te Kipa Kepa Brian Morgan. 2012. "Evaluating Shear Test Methods for Stabilised Rammed Earth." *Constructions Materials* 165:325 - 34.
- Corbin, A., and C. Augarde. 2015. "INVESTIGATION INTO THE SHEAR BEHAVIOUR OF RAMMED EARTH USING SHEAR BOX TESTS." Pp. 93 - 98 in *First International Conference On Bio-based Building Materials*. Clermont-Ferrand, France.
- Hall, Matthew, and Youcef Djerbib. 2004. "Rammed Earth Sample Production: Context, Recommendations and Consistency." *Construction and Building Materials* 18:281 - 86. Retrieved March 29, 2013 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061803001375>).
- Jaquin, Paul. 2011. "A History of Rammed Earth in Asia." *Proceedings of International Workshop on Rammed Earth Materials and Sustainable Structures & Hakka Tulou Forum 2011: Structures of Sustainability*.
- Maniatidis, Vasilios, and Peter Walker. 2008. "Structural Capacity of Rammed Earth in Compression." *Journal of Materials in Civil Engineering* (March):230 - 39. Retrieved March 29, 2013 ([http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:3\(230\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:3(230))).
- Pan, Bing, Kemao Qian, Huimin Xie, and Anand Asundi. 2009. "Two-Dimensional Digital Image Correlation for in-Plane Displacement and Strain Measurement: A Review." *Measurement Science and Technology* 20(6).

Silva, Rui A., Daniel V Oliveira, Lorenzo Miccoli, and Luc Schueremans. 2014. "MODELLING OF RAMMED EARTH UNDER SHEAR LOADING." Pp. 14 - 17 in SAHC2014-9th International Conference on Structural Analysis of Historicak Constructions.

Sutton, Ma, Wj Wolters, Wh Peters, Wf Ranson, and Sr McNeill. 1983. "Determination of Displacements Using an Improved Digital Correlation Method." Image and Vision Computing 1(3):133 - 39.

Biography

Holur Narayanaswamy Abhilash



Abhilash H N is currently pursuing PhD in Doctoral school of ENTPE, Lyon, has completed his post graduate programme in advance construction management from NICMAR, Pune (INDIA). He is interested in continuing research work on sustainable building materials.

Morel Jean-Claude



Jean-Claude Morel studied at the University of Grenoble (PhD Soil Mechanics), France. He was researcher for the French Ministry of Sustainability at Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat of Lyon from 1996 to 2015, before joining Coventry University as Professor Low Impact Buildings.

Fabbri Antonin



Antonin Fabbri studied at the University of Marne-la-Vallée (Laboratoire Navier), France. He continued his research work in CNRS-ENS and BRGM for brief period before joining ENTPE as charg" de recherch" du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des transports et du logement.



Internal insulation of historic buildings with earth building materials

Christof ZIEGERT, Eike ROSWAG-KLINGE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Summary

Due to ornamented facades of historic buildings, external insulations are often problematic in their feasibility. On the other hand, internal insulations can be very challenging by means of building physics. Constructions with damp-proof layers are prone to leaking and to subsequent moisture ingress from outside (moisture-trap). In the last few years, a significant number of vapour-open capillary-active systems entered the market and got more and more established. Earth building materials are most suitable and highly appropriate for this field of application.

There are two different systems for internal insulation based on earth building materials:

- Inner shell of light earth material as wet application or as light weight block masonry
- Insulation board (wood fibre or calcium silicate foam) bonded and plastered with earth mortar.

For the application of internal insulation, different requirements have to be fulfilled. For example, the plinth of the existing wall must be free of rising damp or other sources of moisture as well as the salt content has to comply with the requirements set out by the WTA (Scientific technical workgroup for the refurbishment of historic buildings and cultural heritage preservation). Construction details like window reveals or bearings of timber ceiling beams have to be designed in detail.

Introduction

The energy consumption of historical buildings has to face reduction nowadays, especially in the northern European climate zones. It must be examined to accurately stage to what extent the subsequent insulation of exterior wall components is suitable for the necessary energy savings. Or if already a sufficient reduction can be achieved through the insulation of the top floor ceiling and the roof, the insulation of the lower floor and the basement ceiling as well as a modernization of the heating system. Depending on the geometry of the building, the building envelope is causing only 30 - 40 % of the energy consumption, whereas about one third of it is determined by windows and not by walls. The insulation of a facade is about twice as expensive as the insulation of the roof and basement ceiling. If the insulation of exterior wall components continue to appear useful or even necessary for the project - even after these critical considerations - it is the type of insulation that needs to be considered carefully for each specific case. Since the external insulation of historic facades is often not possible due to design and / or historic preservation reasons, it is only the internal insulation with its building physic challenges that remains for insulating the exterior wall components. Earth building materials with their specific physical properties are ideally suited for this complex internal insulation.

1 external insulation vs. internal insulation

Both the exterior and the interior insulation have advantages and disadvantages, which must be individually weighed for each object. Some factors that may facilitate this decision are listed below for both the exterior insulation as well as for internal insulation by + (pros) and - (cons):

External insulation

- + structural-physical unproblematic with respect to condensation in the construction
- + with the same insulation thickness: insulation effect is better than internal insulation
- often problematic in the field of visual appearance and design

- surface condensation and formation of algae cannot be excluded
- scaffolding costs
- adjustment of roof drainage, window sills etc.
- exceeding of the property boundaries

Internal insulation

- + apartments can be insulated independently
- + no scaffolding costs
- + light earth in plastic mounting: thickness compensation without additional layers
- + rapid heating of the room
- building physics analysis is necessary due to heavy losses in case of miscalculated setup
- tolerance to driving rain decreases
- reduced insulation effect due to embedded components (e.g. ceilings or cross walls)
- loss of (living) space
- installations and details need to be adapted
- partial loss of thermal inertia (negative for summer heat protection)

The question of external insulation does not arise when it comes to decorated and/or historic facades. In this case, it is only an internal thermo-technical improvement that can be applied to exterior walls.



Fig. 1: The external insulation of historic buildings would often mean a loss of cultural identity

Germany's regulatory technical framework is constituted as follows: according to the Energy Saving Ordinance 2014 (EnEV), there is no general obligation for subsequent insulation of external walls of existing buildings. The external wall must only be insulated if outside work on the component is taking place, like completely replacing the wall, lagging the wall or if the external plaster gets modernized.

For interior insulation, minimum values for the U-value were set up by EnEV. However, it is the highest possible insulation thickness - in accordance with the recognized rules of technology - that needs to be installed. The potential damage of too thick internal insulations is hereby taken into account by EnEV. Thus, a „reasonable“ insulation measure is accredited, according to the state of the art. However, the minimum heat insulation protection in accordance with DIN 4108-2 with a thermal resistance of $> 1,2 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$ (equivalent U-value $< 0.83 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$) is to be observed in any case.

2 light earth internal insulation vs. insulation panels embedded in earthen mortar

In general, there is a distinction to be made between internal insulation of thermally insulating earth building materials ($\lambda = 0.1 \dots 0.2 \text{ W} / \text{mK}$) and internal insulation of capillary-insulating materials ($\lambda < 0.1 \text{ W} / \text{mK}$) with adhesive earthen layers and earthen plaster layers. Both techniques are used in the renovation of half-timbered walls as well as for solid earth buildings, brick and natural stone buildings [1].

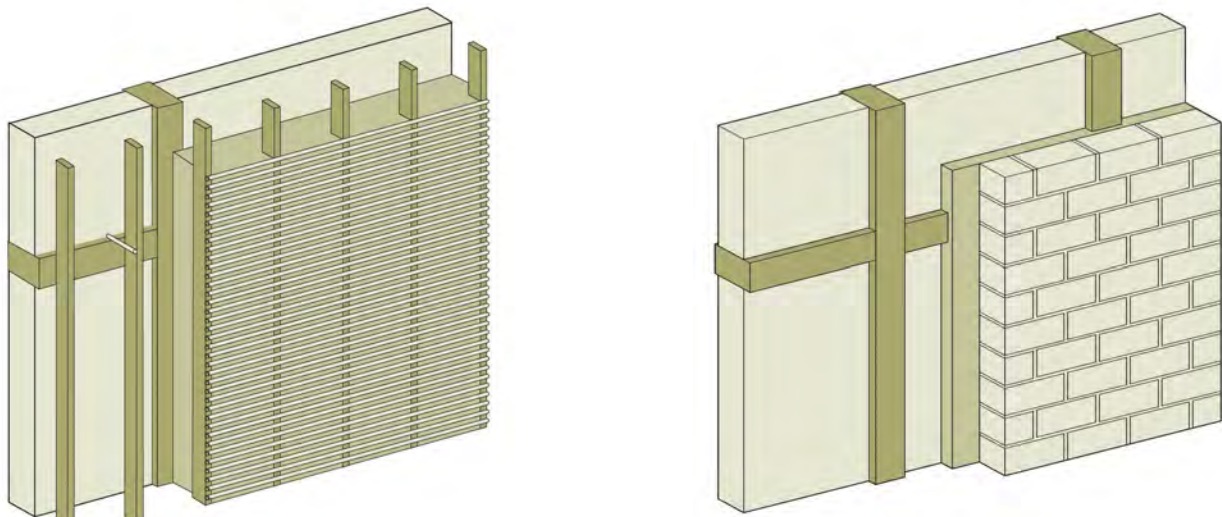


Fig. 2 a and b light earth as final lining: ductile embedded (a) or masoned (b)

The experience with internal insulation with light earth application is an established practice since the last three decades. In contrast to the embedded version of insulation panels in earthen mortar, this is in practice only since the last ten years. The functioning of both types of interior insulation is based on the principle of capillary action, i.e. possibly condensate is transported by capillary active earth building materials (and insulation). Thus, these systems are also moisture-tolerant in case of driving rain or structural damage. In this type of component layering, the moisture can not get enclosed by vapour trap or steam brakes. Moisture, which arises through the building materials, can become critical with light earth internal insulation systems during the construction phase. Here, intensive drying efforts are required. Furthermore, in order not to produce too much condensation, an overdimensioning of the internal insulation should be avoided. A meaningful, mathematically demonstrable and proven practice is an insulation thickness of 6 to 8 cm. Soft wood fiber insulation boards and mineral foam panels can be recommended as established materials for internal insulation.



Fig. 3a and b interior insulation with soft fibreboards (a) and mineral foam pannels (b) embedded in earthen mortar

The initially used reed pannels show no calculative evidence, already from a thickness of 4 cm. Therefore, this kind of application already decreases. Wood fiber pannels are flexible and therefore rather used for internal insulation of timber-framed buildings. For solid constructions, the use of mineral foam boards predominates.

Light earth internal insulation has the following + (pros) and - (cons), compared to internal insulation with insulating materials:

- + physical unproblematic if not too light weighed
- + high thermal storage capacity at moderate heat insulation
- + thickness compensation without additional layers when embedded in light earth mortar
- loss of (living) space due to thick layers
- high loads: interception is necessary for multi-storey buildings
- long drying time due to levelling courses for light earth final lining and when embedded.

Especially the last point was creating a lot of damages in the last time (Fig. 4) and was not proper discussed in the literature that focused on the light earth internal insulation [2], [3].



Fig. 4a and b Mould and fungi development because of a too slowly drying processof the light earth interior insulation, Germany

Interior insulation with thermal insulation, adhesive earthen layers and plaster layers have therefore the following (+) advantages and (-) disadvantages compared to light earth insulation:

- low thermal storage capacity
- a careful building physical examination is necessary
- + low heat loss
- + light loads
- + short drying times when no compensation layers necessary
- + low heating-up times of rooms

Historic half-timbered and solid structures are largely unproblematic in terms of thermal bridges with embedded components (e.g. embedded cross walls in the exterior wall). However, the building physics analysis of the ceiling joist support can be regarded as imperative, at least in historic brick buildings.

The building physical properties of earthen interior insulation materials can be determined using specialised computer software that takes into account the capillary transmission properties of existing and insulation materials e.g. COND, WUFI or DELPHIN. The last two programs also consider the driving rain exposure at specific geographical locations. Such analyses show that the moisture from rain exposure can drastically increase the resulting level of condensation.

3 Best practice

3.1 Lime stone-Pisé-barn in Ribbeck near Berlin

This former sheepfold was built mid-19th century in lime-pisé-construction. First, comprehensive measures of crack repair, exsiccation and desalination have been executed. After the completion of these measures, a 15 cm thick interior insulation layer of light earth with hemp could be installed. The U-Value of the wall is reduced with the insulation from 1.2 down to 0.59 W/m²K.



Fig. 5a and b light earth interior insulation with hemp. Former sheepfold Ribbeck / Germany

3.2 Granary in Freiberg

This historic granary with 3 full storeys and 3 attic storeys was converted into a library. The historic stone walls are made of very heavy and thus highly thermally conductive gneiss. Before applying the internal insulation system, the walls were drained to the foundation. The walls were desalted with a temporary earthen plaster that detracts the salt out of the walls, the so-called „Opferputz“ or oblation plaster. The physical analysis showed that the natural stone walls are so strong diffusion braking that only an internal insulation with mineral foam boards could be implemented. The pannels are embedded and plastered with clay. The U-Value of the wall is reduced with the insulation of 6 cm mineral foam board from 1.3 down to approximately 0.50 W/m²K.



Fig. 6a and b internal insulation of mineral foam pannels (embedded and plastered with clay) and wall heating system at a granary in Freiberg / Saxony in Germany

Conclusion

For design and historic preservation reasons, the installation of an external insulation is often not possible for historic buildings. Thus, only an internal insulation can be considered if the outer walls still need to be insulated. Interior insulation with earthen building materials are applied with a strong upward trend both in the renovation of half-timbered buildings with earthen infill and solid constructions as well as for brick and natural stone buildings. Due to the capillary activity of the systems, these types of internal insulation can be installed without braking or blocking films. Furthermore, these earthen interior insulation systems are fault-tolerant systems. The thermal transmittance of historic wall structures can thus be substantially reduced, but not lowered to new building levels.

Bibliographical references

- [1] English Version: Röhlen, U., Ziegert, C. (2011). *Earth Building Practice*, Beuth-Verlag, Edition Bauwerk, Berlin, ISBN 978-3-410-21737-4
French Version: Röhlen, U., Ziegert, C. (2013). *Construire en terre crue*, Edition Le Moniteur, Paris, EAN13: 9782281115673
German Version: Röhlen, U., Ziegert, C. (2014). *Lehmbau Praxis*, Beuth Verlag, Edition Bauwerk, Berlin, ISBN 978-3-410-23942-0, 2. completely revised Edition (04/2014)
- [2] Volhard, Franz (2016). *Light Earth Building. A Handbook for Building with Wood and Earth. 8th revised and expanded edition*, Birkhäuser Verlag, Basel 2016
- [3] Minke, Gernot (2009). *Handbuch Lehmbau – Baustoffkunde, Techniken, Lehmarhitektur*. Ökobuchverlag. Staufen



**Evaluación sísmica de una iglesia histórica de adobe:
San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, Cusco, Perú**

R. AGUILAR , R. PERUCCHIO, J. VARGAS, C. BRICEÑO, Y. WANG, Z. QIAO, Y.
DONG, S. SWAYNGIM

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

La iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas es considerada como una de las iglesias coloniales de tierra más emblemáticas en el Perú. Sin embargo, dado que su material componente es el adobe y está ubicada en una de las zonas con más alta actividad sísmica en el mundo, la iglesia se encuentra constantemente en riesgo. Debido a su importancia cultural, su preservación es de gran interés para lo cual se ejecutaron campañas de diagnóstico estructural y análisis numérico. Durante la campaña preliminar de diagnóstico se encontraron grietas de gran espesor en el tímpano de adobe ubicado sobre el arco triunfal, así como daño severo en algunos elementos de madera por lo que se decidió realizar un estudio amplio para evaluar su comportamiento sísmico. El presente artículo reporta un resumen de lo encontrado inicialmente y de los trabajos que se están realizando que incluyen el levantamiento geométrico con tecnología óptica, la identificación de materiales y sistema estructural con termografía, así como el análisis numérico con modelos en elementos finitos para estimar su capacidad sísmica.

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por la conservación de construcciones históricas ha impulsado su restauración y rehabilitación, para lo cual son necesarios la ejecución de diagnósticos estructurales avanzados lo cual implica conocer el estado actual del monumento y estudiar de la influencia de las medidas de adecuación que se proponen (Giuffrè, 1996; Tolles et al., 2003). La intervención en este tipo de construcciones requiere de la participación interdisciplinaria de profesionales de disciplinas ligadas a la historia, ingeniería, arquitectura, conservación, etc.

Una de las construcciones de tierra más representativas de la región Andina en Sudamérica es la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas en Cusco, Perú. Debido a su impresionante colección de lienzos y pintura mural y de techos (ver Figura 1a), es considerada como la Capilla Sixtina de Latinoamérica. El templo está conformado principalmente por una nave central, presbiterio, torre de campanario y capillas laterales. La reconstrucción 3D del templo se muestra en la Figura 1b para ilustrar su configuración arquitectónica. Su sistema estructural consiste principalmente en paredes de adobe de 2m de ancho conectadas longitudinalmente por vigas de madera (y tirantes de acero colocados recientemente como elementos de refuerzo).



(a)



(b)

Fig. 1. Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas: (a) foto interior, y (b) reconstrucción 3D del templo

Este artículo presenta un resumen del estudio estructural integral de la iglesia de Andahuaylillas, cuyo objetivo principal es conocer su estado actual de conservación y determinar su comportamiento ante sismos. En el artículo se muestra las campañas identificación de anomalías, el estudio del comportamiento sísmico de algunos subelementos estructurales como el arco triunfal y los resultados del análisis estructural mediante un modelo de elementos finitos de la iglesia con el fin de determinar su capacidad lateral e identificar zonas críticas de daño.

2. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL

2.1. Inspección preliminar

Desde su construcción, la iglesia ha pasado por una gran cantidad de trabajos de restauración especialmente en los últimos 50 años (Vargas et al., 2013); sin embargo, su mayoría han sido orientados al aspecto estético del templo. En el 2012 se realizó una inspección visual identificando grietas importantes en algunos muros de adobe, principalmente en la zona del presbiterio y capillas, tal como se muestra en la Figura 2 (Castillo et al., 2012). Entre las patologías más resaltantes encontradas está una abertura en la pared del presbiterio, colindante con la nave, a la altura de 12,5 m y grietas diagonales de 2.5cm de espesor en el tímpano del arco triunfal.



Fig. 2. Anomalías identificadas durante la inspección visual

2.2. Identificación de anomalías mediante la aplicación de termografía infrarroja

La técnica de termografía infrarroja permite identificar materiales y anomalías/patologías estructurales que podrían estar no visibles por la aplicación de recubrimiento en algún momento de la historia del edificio (Paoletti et al., 2013). En este trabajo se utilizó esa técnica y como resultado de la campaña de diagnóstico se detectó fisuras principalmente en la torre del campanario. Además, se encontraron diferentes adiciones/modificaciones realizadas tales como resanes, nueva albañilería de adobe, sobre cimientos de albañilería de piedra y vigas embebidas de madera, las cuales pueden ser observadas en la Figura 3. El detalle de los resultados se muestra en Aguilar et al., 2016.

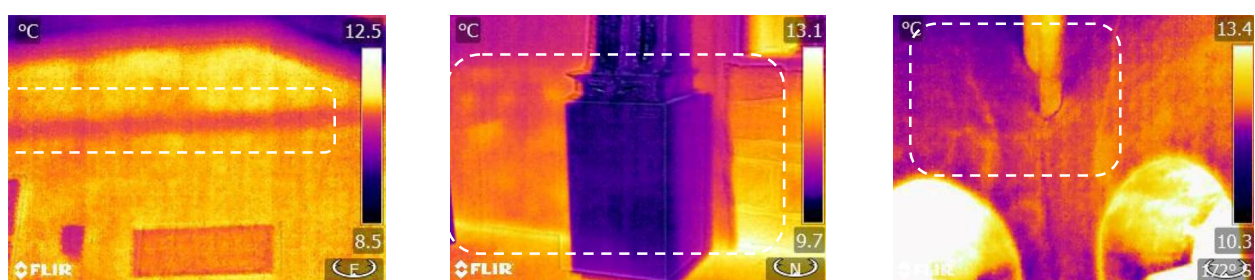


Fig. 3. Resultados de la identificación de materiales y anomalías/patologías estructurales con la técnica de termografía infrarroja (adaptado de Aguilar et. al 2016)

3. ANÁLISIS NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO

3.1. Comportamiento sísmico del arco triunfal

El arco triunfal de la iglesia está compuesto por varios elementos subestructurales: arco, tímpano y paredes laterales con ventanas. Cada elemento influye claramente en la capacidad lateral de la subestructura. Con el objetivo de evaluar su influencia se realizó el análisis estático no lineal de dos configuraciones geométricas: el arco solo y el arco interactuando con las capillas laterales que se encuentran en el mismo plano. Ambos modelos fueron construidos utilizando elementos cuadráticos triangulares con estado plano de esfuerzos (CPS6) y analizados mediante el software Abaqus /CAE Explicit (Abaqus / CAE, 2013). En la Figura 4 se muestra el estado de daño al colapso de ambos modelos en términos de máximas deformaciones principales plásticas.

Para el arco solo, el daño se origina en el centro del intradós bajo cargas de peso propio. Cuando se aplica la aceleración horizontal, la grieta se desvía lateralmente y luego hacia abajo. Asimismo, otras dos fisuras se producen en la esquina superior e inferior del pilar derecho. Como resultado, el pilar separa gradualmente del arco hasta el colapso, mientras que este último se divide en dos partes. Inmediatamente después el pilar izquierdo también se derrumba al término del desarrollo de una fisura en su unión con el arco. Su capacidad lateral antes del colapso final es aproximadamente 0.12 g, el cual se muestra en la Figura 4a.

Para el segundo modelo (arco con paredes laterales), al final de la carga gravitacional no se presentó algún daño lo cual confirma el efecto estabilizante de las paredes laterales. Sin embargo, a medida que se fue aplicando la aceleración horizontal, una grieta asimétrica se desarrolló en el intradós y luego se vuelve hacia adentro. Adicionalmente, grietas por corte se originaron rápidamente en los muros laterales junto con fisuras que los separan de los pilares. Por último, el colapso se produce debido a las grietas de corte en la ventana derecha. Las curvas de capacidad en la Figura 4b indican una capacidad máxima de 0.43 g. El detalle de estos resultados se muestra en Briceño et al., 2015.

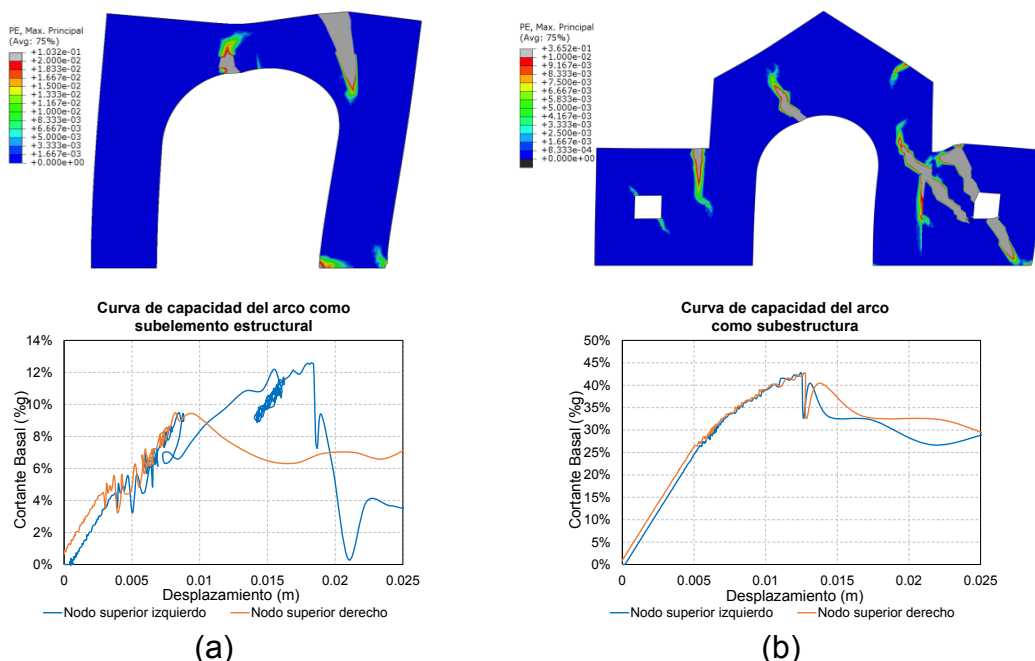


Fig. 4. Análisis ante cargas laterales del arco triunfal: (a) arco solo, y (b) arco con paredes de la capilla lateral (adaptado de Briceño et al., 2015)

3.2. Evaluación sísmica preliminar de la iglesia de Andahuaylillas

Para la iglesia de Andahuaylillas, se realizó un análisis estático no lineal adoptando el modelo de daño-plasticidad del concreto, disponible en Abaqus / CAE Explicit, para representar el comportamiento inelástico del adobe. Durante el desarrollo del análisis se observó que los contrafuertes y capillas laterales restringen el desplazamiento del muro de la nave. Las zonas críticas al colapso son mostradas en la Figura 5a en términos de parámetro de daño, cuyos valores de 0 y 1 representan que el material se encuentra intacto o completamente dañado, respectivamente. Como se ve, el desplazamiento del muro genera daños en las conexiones entre las paredes de las capillas, nave y presbiterio. Adicionalmente, se presentaron daños en la zona superior de la torre y el muro posterior de la nave. La curva de capacidad es presentada en la Figura 5b, en la cual se evidencia la degradación de la rigidez durante su evolución, alcanzando una capacidad máxima de 0.25g. El detalle de estos resultados se muestra en Marques et al., 2014.

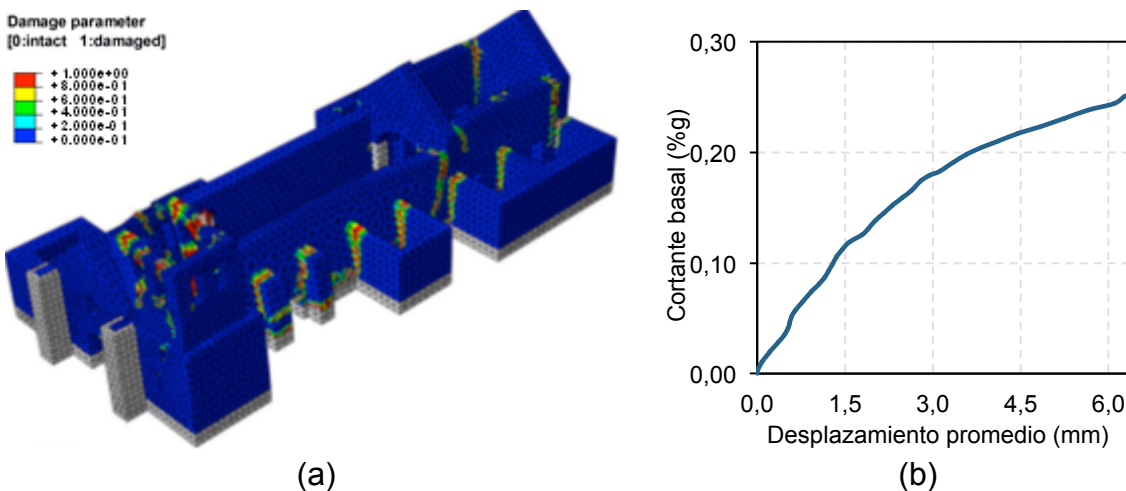


Fig. 5. Resultados del análisis estructural de la iglesia (a) estado de daño y (b) curva de capacidad (adaptado de Marques et al. 2014)

4. CONCLUSIONES

Este artículo presenta las investigaciones relacionadas a la evaluación sísmica de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas. La campaña de termografía infrarroja ejecutada permitió la detección de anomalías en la iglesia que no fueron encontradas en inspecciones visuales. Pese a que la campaña se enfocó en el aspecto cualitativo, la información recolecta es relevante para el desarrollo de las siguientes etapas de diagnóstico estructural de la iglesia. Los análisis numéricos del arco triunfal confirman la debilidad de la tracción en el tramo central del intradós y las conexiones con las paredes laterales. Además se verificó algo esperado en el sentido de la importancia de que los muros laterales de las capillas trabajen en conjunto con el arco porque así se aumenta considerablemente su capacidad sísmica. Finalmente, la evaluación sísmica preliminar de toda la iglesia mediante el análisis estático no lineal evidencia la importancia de asegurar la conexión de las capillas con las paredes de la nave.

Para trabajos futuros se propone el análisis estructural de templo considerando una geometría más exacta a partir de la reconstrucción 3D, así como la integración con ensayos in-situ para la caracterización de materiales y sistemas estructurales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer a la Pontificia Universidad Católica del Perú y a su oficina de financiamiento DGI-PUCP (proyecto 2015-171) por la provisión de fondos para el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, se agradece a CONCYTEC por la beca de apoyo a los estudios de postgrado de una de las autoras.

REFERENCIAS

Aguilar R., Briceño, C., Vargas J., (2016) *Structural diagnosis of heritage earthen buildings using IR thermography*, Seoul International Conference on Engineering and Applied Science, SICEAS, Seoul, South Korea

Abaqus/CAE (2013) *Software manual of Abaqus / CAE for analysis of finite elements*, Versión 6.12. Dassault Systèmes: Vélizy-Villacoublay.

Castillo M., Kuon E., Aguirre C., 2012, *San Pedro Apostol de Andahuaylillas – Guía de Visita*, Ed. Asociación Jesus Obrero – CCAIJO, Andahuaylillas, Cusco.

Giuffrè, A. & Carocci, C. (1996) *Vulnerability and mitigation in historical centres in seismic areas: Criteria for the formulation of a "practice code"*. In: Proc. of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, Elsevier: Acapulco.

Marques R., Briceño C., Ivancic S., Aguilar R., Perucchio R., Vargas J., (2014), *Study on the seismic behaviour of St. Peter the Apostle Church of Andahuaylillas in Cusco*, Peru, 9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães, Portugal

NTE.010: *Reglamento de edificaciones del Perú, Norma técnica E.030: Diseño Sismorresistente*. SENCICO: Lima 2007.

Paoletti, D., Ambrosini, D., Sfarra, S., & Bisegna, F. (2013). *Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation*. Journal of Cultural Heritage, 14(2), 116-121.

Tolles, E. L., Kimbro, E. E., & Ginell, W. S. (2005). *Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe*. Getty Conservation Institute.

Vargas, J.; Aguilar, R.; Gonzales, M. & Briceño, C. (2013) *Intervención estructural en la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas en Cusco, Perú*. In: Proceedings of the 13 Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra (XIII SIACOT), Valparaíso, Chile.

Briceño C., Dong Y., Wang Y., Qiao Z. Perucchio R., Aguilar R. (2015) *Seismic analysis of earthen churches: The triumphal arch at Andahuaylillas, Peru*, Proceedings of the Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, J. Kruis, Y. Tsompanakis and B.H.V. Topping, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.



Normas de Tierra : Ensayos de Tracción Indirecta.

Julio VARGAS – NEUMANN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

La normatividad para construcciones de tierra es relativamente escasa y aparece en la segunda mitad del Siglo XX. Una revisión de las normas de distintos países, muestra que muy pocas incluyen especificaciones mínimas para las características mecánicas del material tierra para la construcción. Estas especificaciones mínimas son evaluadas por ensayos de laboratorio. Esto en parte se debe a que la actual construcción con tierra es mayormente auto-construcción y muchas veces rural antes que urbana o peri-urbana. El mundo formal tiene menos interés en Normar la construcción con tierra.

La técnica de tierra más referida en las normas es la de albañilería de adobe y empiezan a aparecer referencias a la técnica del Tapial. No existe un consenso sobre si las resistencias mínimas establecidas, deban referirse a una probeta de material uniforme, como un adobe, un cubo o un cilindro, o si se deban referir adicionalmente a un murete, tal vez ya no tan uniforme.

En todo caso la tierra es un material frágil y como tal, cualquier inicio de falla está asociado a deformaciones unitarias últimas de tracción, por ser estas varias veces menores que las deformaciones unitarias últimas de compresión, sea cual sea la distribución de deformaciones y esfuerzos unitarios que se produzcan en la probeta de ensayo durante las pruebas de laboratorio.

Se comparan ventajas y desventajas de las pruebas de laboratorio, para terminar proponiendo orientar las especificaciones normativas a aprobar pruebas de laboratorio basadas en ensayos de tracción indirecta, por compresión diametral. Variantes al llamado ensayo brasilero, que desarrolló el Ing. Lobo Carneiro de Brasil (1953) para el concreto.

Introducción

En los materiales frágiles, al alcanzar la deformación unitaria última de tracción, se produce agrietamiento del material estructural. La capacidad de deformación unitaria de tracción, en mucho menor a la capacidad unitaria de compresión.

No es útil entonces evaluar si se cumplen especificaciones mínimas del material tierra, en una prueba de laboratorio donde los platos de una prensa actúan sobre un cubo de tierra, a la cual llamamos prueba de compresión, aunque por la distribución de isostáticas reales, la falla se produce por alguna forme de tracción indirecta. Como la tierra seca trabaja mejor transmitiendo compresiones, es natural que se desee conocer cuánta compresión soportan. Tampoco es útil someter a un adobe a un momento flector y discutir si la falla fue de corte o tracción por flexión, porque por compleja que sea la distribución de deformaciones, las fisuras estructurales se inician por tracción.

Las pruebas deben ser simples y revelar fácilmente cuanta tracción soportan, que es la forma en que fallan. Pruebas donde la distribución de esfuerzos y deformaciones unitarias, en su etapa lineal, sean fáciles de relacionar con la carga actuante. En la prueba de compresión del cubo (adobe, o tapial), queriendo saber cuánta compresión soporta, se crea una distribución de deformaciones, complicada por acciones restrictivas de los platos de prensa y condiciones de borde, que produce fisuras de tracción con desconocida relación respecto a la carga impuesta. Esta prueba de laboratorio, es especificada para conocer la resistencia última de compresión en la Norma NTE. 080 Adobe, Diciembre de 1999, del Perú.

1. PRUEBAS NORMATIVAS DE LABORATORIO

1.1 Relación entre la forma de probeta y la carga vertical del ensayo.

La prensa de carga vertical es el instrumento más conocido y universalmente asequible para pruebas de laboratorio. Los equipos de medición permiten conocer la carga actuante y la deformación de los platos de la prensa.

Si lo que conviene conocer es el esfuerzo de tracción unitaria o la deformación de tracción unitaria, que produce las primeras fisuras, y dar especificaciones mínimas de resistencia a tracción para las normas, necesitamos el auxilio de la teoría de elasticidad para conocer la distribución de esfuerzos y deformaciones unitarias en cada forma de probeta propuesta, bajo carga vertical.

1.2 La forma esférica. Ensayo de Tracción Indirecta.

La relación entre el esfuerzo máximo de tracción horizontal σ_t en una probeta esférica y la carga vertical $P_{\text{máxima}}$ diametral, es: $\sigma_t = \beta \cdot P/2\pi R^2$ y actúa en todos los planos verticales, donde R es el radio de la esfera y β es un factor de ajuste de condiciones de borde y material de transmisión de la carga.

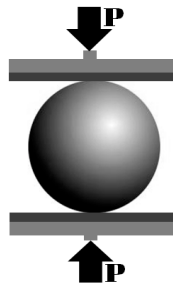


Figura 1: Ensayo de tracción indirecta en una probeta esférica

Pero la probeta esférica tiene problemas para crearse y conservar su forma durante el secado, aún cuando se recomienda moldearla con la mínima cantidad de agua. El encofrado no es sencillo y sin él, la esfera se deformará, complicando la correcta distribución de esfuerzos y deformaciones elásticas por acción de la carga axial. No serviría para el caso de tapial, que debe compactarse.

Sin embargo, esta forma esférica resultó útil para establecer una prueba de campo manual que permite conocer si una cantera tiene suficiente calidad/cantidad de arcilla para una adecuada resistencia seca apta para la construcción. Esta prueba de campo ha sido recogida en el Proyecto de Actualización – Versión 1. Norma NTE E.080 Construcción con Tierra del Perú, Noviembre 2013, que fue sometida a discusión pública hasta Enero del 2014. Proyecto de Norma que cubre la construcción con tierra en las técnicas de tapial y albañilería de adobe.

1.3 La forma de disco o cilindro. Ensayo de Tracción indirecta.

La relación entre el esfuerzo máximo de tracción en el plano central de una probeta de sección circular, es $\sigma_t = 2P/\pi \cdot A$, donde σ_t es el esfuerzo máximo de tracción en el plano central de la probeta (N/mm^2), P_{max} es la carga de rotura (N); $A = L \cdot D$ (mm^2), D es el

diámetro de la probeta cilíndrica (mm); L es la longitud de la probeta (mm). Según la norma ASTM C 496 (2004) la relación es: $\sigma_t = \alpha \cdot 2P/\pi \cdot A$, donde α es un factor de ajuste por las condiciones de borde.

En la Figura 2, se muestra la distribución de esfuerzos internos horizontales desarrollados en el eje diametral sobre el cual se aplica la carga de compresión durante el Ensayo de Tracción Indirecta en un espécimen cilíndrico. Se puede apreciar la concentración de esfuerzos de compresión en las zonas cercanas a los puntos de aplicación de carga (los ensayos usan un listón de madera delgada en contacto con los platos de la prensa, para repartir la carga). y también se aprecia los esfuerzos en tracción muy uniformes en gran parte (alrededor de 80%) de la zona central de la probeta.

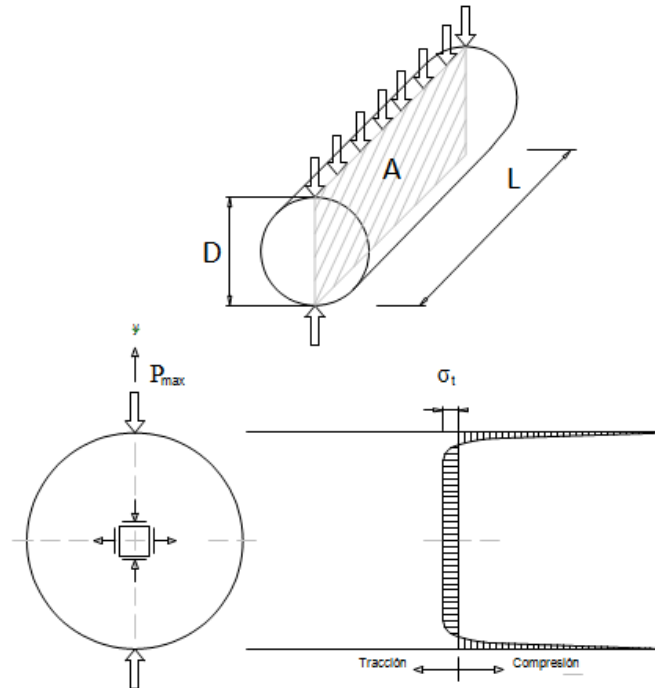


Figura 2. Esfuerzos de tracción horizontal en el ensayo de tracción indirecta.

Este ensayo tiene la ventaja de usar los moldes cilíndricos empleados para el control de calidad del concreto, que existe en los laboratorios. Los ensayos del material para la técnica de adobe, deben de ser manualmente colocados, de manera similar a la colocación del barro en sus gaveras. Los ensayos para la técnica del tapial, deben ser compactados en tres capas con 12 golpes de compactación cada una, con mazo manual cilíndrico de 6 kilos o más. Los contenidos de humedad serán de 15 % para el adobe y 10 % para el tapial (variación máxima de 1 %). Esta prueba de Laboratorio fue recogida en el Proyecto de Actualización – Versión 1. Norma NTE E.080 Construcción con Tierra del Perú, Noviembre 2013, que fue sometida a discusión pública hasta Enero del 2014. Proyecto de Norma que cubre la construcción con tierra en las técnicas de tapial y albañilería de adobe.

1.4 La forma cúbica. Ensayo de tracción Indirecta.

Si en el ensayo del cubo en la prensa, la carga la transmitimos concentrada a través de una tabilla o varilla centrada, produciremos una distribución de esfuerzos semejante al caso del cilindro. El material de los excedentes de la figura cuadrada respecto al círculo

inscrito, en un plano central paralelo a la hoja, no variarán la distribución de esfuerzos del caso de la probeta cilíndrica e igualmente se podrá considerar:

$\sigma_t = \varphi 2P/\pi.L^2$, donde φ es el factor de ajuste y L es el lado del cubo. El área A será aproximadamente el plano de falla.

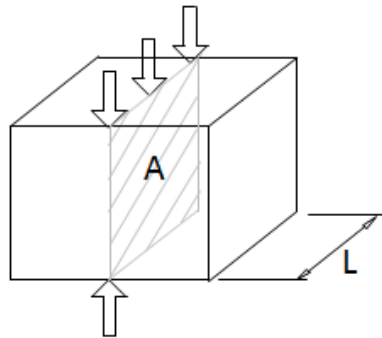


Figura 3. Ensayo de tracción indirecta de una probeta cúbica.

El tratamiento de colocación del material dentro del molde, será semejante al descrito para el caso del cilindro, según la técnica de tierra utilizada. Cada norma deberá dar detalles de ejecución según los ajustes de los factores α , β ó φ que se determinen según los detalles de aplicación de la carga puntual.

2. PROPUESTA DE ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE EMPAREDADOS DE ADOBE Y MORTERO.

2.1 Necesidad de un ensayo para el mortero de tierra en albañilería de adobe.

La resistencia de la albañilería de adobe, depende en gran medida de la calidad del mortero y su capacidad de cohesión para unir bloques de adobe. Desde las primeras investigaciones de la PUCP sobre construcciones con tierra (1970s), se observó que las fisuras en los muros de mampostería de adobe, frente a sollicitaciones en su plano o fuera del plano, se producían generalmente en líneas escalonadas siguiendo las juntas entre el mortero y la unidad de adobe (Blondet M. 1978 y Vargas, J. 1979). La calidad del mortero en general, es menor que la de los adobes principalmente por dos motivos: La mayor humedad inicial usada para su colocación y la mayor velocidad de secado dentro de los adobes ya secos y absorbentes. Por ello, la albañilería no se comporta como un material uniforme o monolítico.

En 1983, se investigó por primera vez la aplicación del ensayo de tracción indirecta, para medir la resistencia de la albañilería de adobe (Vargas J. et al, 1984). Ver fotos de esta investigación de 1983 en la figura 5. En laboratorio se ha comprobado que de la calidad y cuidado de los morteros y su velocidad de secado, depende la resistencia de la albañilería de adobe. También se ha comprobado que la disminución del espesor del mortero desde 20 ó 15 mm hasta 10 ó 5 mm, pueden mejorar 150 % más la resistencia de la albañilería (Vargas-Neumann J., 2009). Además ahora se sabe que un minuto o más de remojo de los adobes antes de ser colocados en los muros, mejora significativamente la resistencia, al producir un secado más lento del mortero. Adicionalmente la resistencia mejora con el empleo de fuertes cantidades de paja en el mortero. (Vargas, J., 2013). Esta prueba de Laboratorio fue recogida en el Proyecto de Actualización – Versión 1. Norma NTE E.080 Construcción con Tierra del Perú, Noviembre 2013, que fue sometida a discusión pública hasta Enero del 2014.

2.2 Análisis de esfuerzos en la interfase entre mortero y adobe.

El ensayo de tracción indirecta permite medir la resistencia mecánica de la mampostería de adobe, por tracción indirecta, mide la adherencia en la interface mortero-unidad.

$S_m = \alpha S_t = \alpha 2P_{max} / \pi A$, donde:

S_m , es el esfuerzo máximo de tracción en interface mortero-unidades N/mm^2

α , es el coeficiente de forma que depende de la geometría de la probeta

S_t , es el esfuerzo máximo de tracción nominal (N/mm^2)

P_{max} , es la carga de rotura (N)

b , es la base de la probeta (mm)

h , es la altura de la probeta (mm)

l , es la longitud de la probeta (mm)

$A = l \times h$, es el área de contacto entre unidades (mm^2)

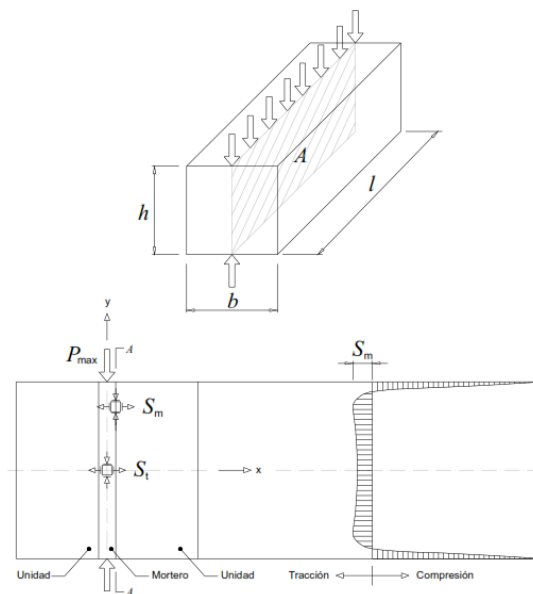
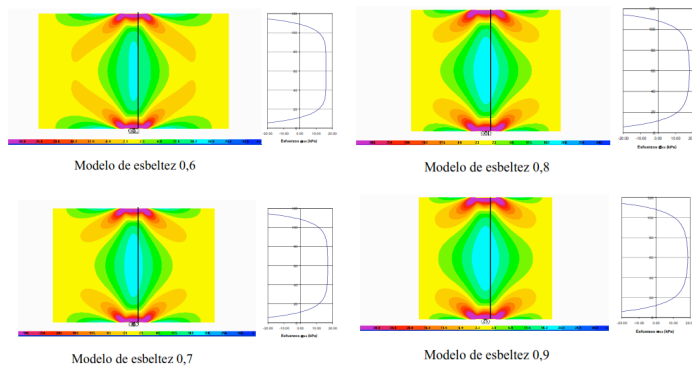


Figura 4. Distribución de esfuerzos en un ensamble de dos adobes y mortero.

Para el cálculo del factor α de la expresión S_m , esfuerzo máximo de tracción en la interfase, se realizó modelos de elementos finitos con variaciones de esbeltez del ensamble adobes-mortero, que determinaron la distribución de esfuerzos de tracción horizontal en la interfase S_m con mortero de 10 mm. (Iwaki C. y Morales K., 2007). Tesis realizada en el Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para futuras aplicaciones en versiones normativas de albañilería de adobe.

El mortero ha sido el gran ausente en las investigaciones sobre la resistencia de los muros de albañilería de adobe. Se le estudiaba por su resistencia a compresión con ensayos de laboratorio para morteros cementicios usados para albañilería de ladrillo quemado. Su más importante característica es su calidad de integración con los bloques de adobe.

Del mortero depende en gran parte el módulo de elasticidad vertical u horizontal de los muros de adobe. En los ensayos de muretes de albañilería a compresión diagonal, las fisuras mayormente son escalonadas por las juntas por la debilidad del mortero y solo cuando se usan morteros de tierra de gran calidad, la fisura del ensayo logra ser vertical, conforme a su distribución de esfuerzos, y corta o cruza igualmente morteros y adobes.



Ancho de mortero (mm)	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$
0,00	0,772	0,806	0,850	0,880
2,50	0,770	0,805	0,848	0,879
5,00	0,765	0,801	0,845	0,875
7,50	0,756	0,795	0,838	0,869
10,00	0,745	0,786	0,830	0,861
12,50	0,734	0,775	0,819	0,850
15,00	0,720	0,762	0,806	0,837

Valores de α para variaciones de esbeltez

Figura 5. Modelos de esbeltez, valores de α y fotos de ensayos de tracción indirecta

3. Conclusiones

- Se explica la importancia de conocer la calidad de la tierra como material de construcción a través de ensayos de su capacidad límite de deformaciones de tracción que son las que producen las fisuras y fallas, no las de compresión.
- Se dan pautas y expresiones útiles que deben ajustarse en los laboratorios, para establecer ensayos en las normas nacionales de construcción de adobe o tapial.
- Se enfatiza la importancia de mejorar la calidad del mortero en las albañilerías de adobe, asunto que no es tradicionalmente conocido y se define una prueba simple de laboratorio, para medir la calidad del mortero de tierra en la técnica de albañilería de adobe.
- Se sugiere utilizar simples reglas de campo para escoger las canteras de tierra, como la prueba de compresión manual (dedos índice y pulgar), de una esfera de 20 mm seca 48 horas, para establecer si hay suficiente presencia de arcilla (calidad o cantidad), en vez de las recomendaciones de utilizar determinados límites superior e inferior de porcentajes de arcilla, sin conocer la calidad, que es muy variable. 3 % de excelente arcilla, pueden equivaler a 60 % de arcilla poco activa. Si ninguna de 5 esferas de tierra de una cantera, no se pueden romper, hay suficiente presencia de arcilla en la muestra como para poder utilizar confiablemente la tierra de esa cantera, para la construcción con tierra.
- Las construcciones de tierra en áreas sísmicas, no podrán evitar fisuras de tracción debido a las altas solicitaciones de los terremotos recurrentes que van acumulando daños. Será necesario reforzar y confinar las estructuras. Pero requieren estructuras resistentes, estables con agrietamientos con desplazamientos controlables por dichos refuerzos. Es importante conocer y pronosticar los patrones de falla, que se inician por tracción, para diseñar adecuadamente los refuerzos.

Referencias Bibliográficas

- Norma NTE 080 Adobe, Diciembre 1999. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.
- Proyecto de actualización – versión 1 para Discusión Pública. Norma NTE E.080 Construcción con Tierra. Noviembre 2013. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Blondet, M. y Vargas, J.: “Investigación sobre vivienda rural”. Convenio con el Ministerio de Vivienda y Construcción. Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil, Publicación DI-78-01, PUCP, Lima, 1978
- Vargas J. “Albañilería de Adobe con Variaciones de Mortero”. Departamento de Ingeniería, Publicación DI-79-02, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 1979.
- Vargas J., Bariola J., Blondet M., Mehta P. “Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe”, Proyecto PUCP-USAID. Publicación DI-1-84. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 1984.
- Vargas-Neumann, J., Blondet M., Iwaki C., Morales K. 2009. “Uso de grouts de barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe”. En: Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2004/2009. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2010. P. 281-288.
- Vargas J., Blondet M. y Iwaki C. “La Intervención del Patrimonio Edificado en Tierra en Áreas Sísmicas y las Cartas de Conservación”. digitAR, nº. 1, pp. 53-61, 2013.
- Iwaki, Carlos y Morales, Kathya. “El Ensayo de Tracción Indirecta para medir la resistencia Mecánica de la Mampostería de Adobe”. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2007.

Nota Biográfica:

Julio VARGAS – NEUMANN

1963 Profesor Principal, Asesor Rectorado, Universidad Católica, Perú

1971 Investigador Construcciones Sismorresistentes de Tierra

1983 Proyectista Profesor de Conservación Patrimonial

1985 Vice Ministro de Vivienda y de Presidencia

1986 Premio Nacional de Cultura, Ciencias y Tecnología

2010 Co-redactor “Declaración de Lima”. Doctrinal ICOMOS.

2012 Orden Mérito Ministerio Vivienda

2015 Presidente ICOMOS-ISCEAH



Structural Performance and Seismic Vulnerability of Adobe Historical Constructions. The Kuño Tambo Case Study.

Georgios KARANIKOLOUDIS, Paulo B. LOURENÇO

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Summary

The current study focuses on the structural assessment and seismic vulnerability of adobe historical constructions. Under the scope of reproducing the existing structural damage, the importance of retrofitting measures is signified.

Adobe buildings, due to their low mechanical properties and overturning resistance, are subject to early structural damage, such as cracking, separation of structural elements and, possibly, collapse in areas of high seismic hazard. Under the auspices of the Getty Conservation Institute (GCI) and the ongoing Seismic Retrofitting Project, the current paper, aims at the assessment of the structural performance and seismic safety of the Church of Kuño Tambo, a religious adobe structure of the 17th century, in Cusco region, in Peru.

The inspection and diagnosis involved sonic testing and damage mapping, while conducted ambient vibration tests revealed the modal response of the structure and served to validate the built 3D FE model. Through nonlinear static and pushover analyses, the seismic vulnerability was defined, together with the necessity of retrofitting measures.

Introduction

Adobe is one of the oldest and most widely used natural materials, which accounts for a significant part of the built heritage and is associated with early building techniques, widely dispersed material availability and low-cost construction.

In general, the overall seismic performance of masonry buildings is highly related to the level of redistribution of seismic loads between vertical elements, enhanced by stiff floors, ring beams and joists [1]. Adobe historic buildings, often lack this level of confinement, and the corresponding structural damage is composed of in-plane failure in parts of the skeleton (rocking, sliding, diagonal tension and toe crushing), as well as out-of-plane, under flexural hinge lines, formed usually at the base or on intermediate heights [1, 2]. Often, aspects, such as the lack of maintenance and adequate retrofitting techniques, further contribute to the loss of historic fabric [3].

The current paper discusses the structural performance and seismic assessment of the Church of Santiago Apóstol de Kuño Tambo, in Acomayo, Cusco, in Peru and is part of the Seismic Retrofitting Project of the Getty Conservation Institute (GCI). The correlation with the existing structural damage and capacity were obtained through nonlinear pushover analyses, based on a macro-modeling approach, with a total rotating strain crack model, of compressive and tensile softening behavior, incorporating fracture energy [4]. The uncertainty of confinement provided by the system of anchored ties was accounted, by conducting analyses with no ties and with ties anchored to the external part of the lateral walls. The assigned material properties were retrieved from the experimental campaign provided by GCI, the onsite testing campaign, conducted by the University of Minho in May 2015, and literature.

1. DESCRIPTION OF THE BUILDING AND DAMAGE IDENTIFICATION

The church of Kuño Tambo is a religious structure of the 17th century (1681), representative of churches built in the Andes, during the period of the Spanish Viceroyalty. Its historic significance lies in the limited number of past interventions, and the mural paintings, present in the interior finishes (Fig. 1). It consists of a single nave, leading to an elevated Presbytery and Altar, with an adjacent sacristy and baptistery (Fig. 2). The walls and buttresses are of adobe masonry, with a single gable timber roof and a roof cover composed of canes, a layer of mud and straw, and clay roof tiles. The structure is built on a base course plinth of rubble stone masonry with mud mortar, over a sloping natural rock, with varying layers of compacted clay.



Fig. 1 Kuño Tambo church: (a) aerial view; (b) 3D CAD model.

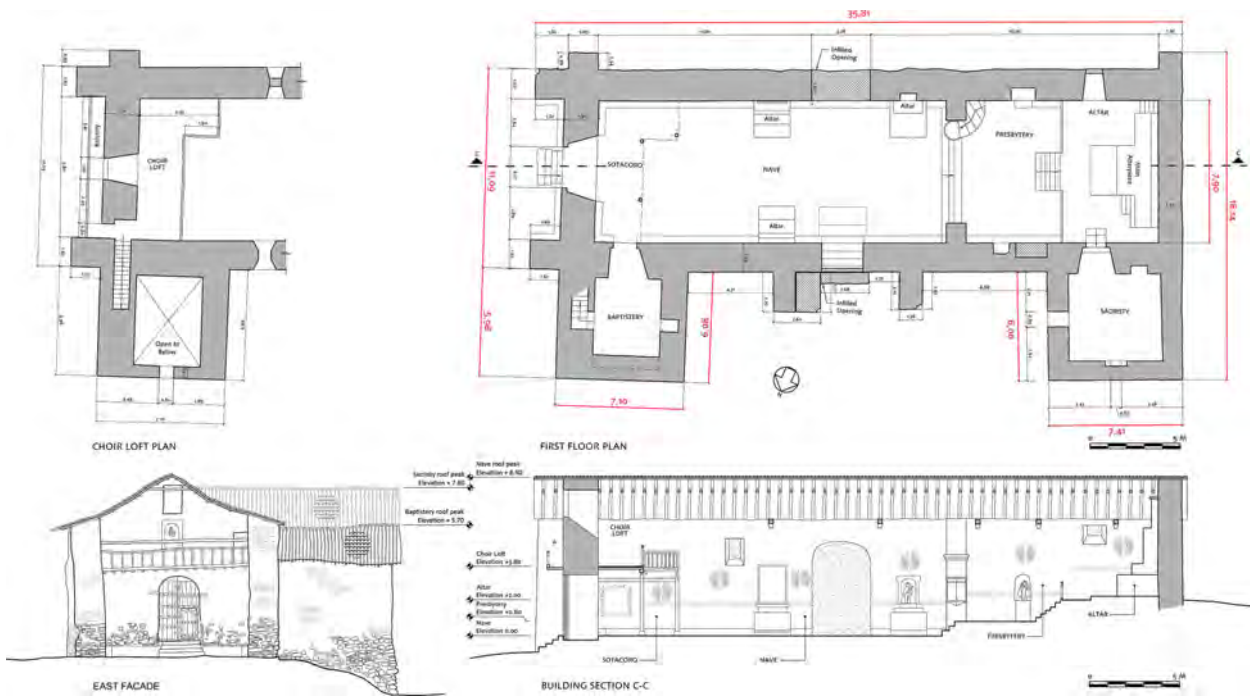


Fig. 2. Architectural plans and elevations (North indication in main plan) [3].

Due to the sloping ground, the base course rubble stone masonry varies in height typically between 1.2 and 1.5 m, with extremes of 3.5 m at the northeast corner. The lateral nave walls have a thickness of 1.6 to 1.9 m and a maximum height of 6.6 m, from ground level.

The east and west façade have a thickness of 1.9 m and 1.3 m respectively, and their height, from ground level to the gable ends, is 8.7 m. For the baptistery and sacristy walls, the thickness varies between 0.65 and 2.0 m, with the east wall of the baptistery having a difference in thickness, due to the presence of the choir loft staircase. Buttresses of adobe masonry are placed on either side of the currently in filled opening, in the north lateral wall. In total six timber ties run along the span of the nave and altar, at the eave level of the lateral walls, placed on top of embedded corbels and in between timber wall plates. Yet, the whole system is discontinuous and the level of confinement is questionable.

The damage configuration, is highly influenced by the low mechanical properties of adobe masonry, the poor level of confinement of structural parts, and the high level of exposure of exterior surfaces to erosion, from improper drainage and maintenance. The east façade shows signs of discontinuity with the lateral walls, with evident vertical cracks at both ends. The south lateral wall exhibits outward displacements, loss of mortar and units, while the base course has evident signs of erosion and deterioration in many exterior parts, with loose stones and missing mortar from joints.

The baptistery exhibits several vertical cracks, located in the middle span of the sidewalls and at the east corner of the gable wall, which appear to be related to seismic action or settlements, triggered by the difference in the thickness. The crack at the corner is characteristic of a separation mechanism of orthogonal walls, from pounding during earthquake events or soil settlements [2]. The presence of damage in all the facades is presented in Fig. 3 [5].



Fig. 3 Damage maps in each facade [5].

2. IN SITU TESTING AND FE MODEL VALIDATION

The material properties were determined from bibliographic resources, national technical building standards [6, 7, 8], considering also the results of the experimental campaign, conducted for the SR Project [9], by the Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) in 2011 and 2012, and the in situ sonic testing in May 2015, by the University of Minho [10]. The compressive strength of adobe masonry, was accounted from compression tests on adobe wallets, taken from case study buildings in the center of Lima and is equal to 0.45MPa [9]. For the modulus of elasticity E , which is associated with the compressive strength f_c by $E_m=af_c$, a value of a closer to the lower bound specified by Tomazevic [11] is chosen, which corresponds to a Young's Modulus for the adobe masonry of 100 MPa [12].

According to the Mohr-Coulomb yield condition, the tensile strength of adobe masonry, with the cohesion c , equal to 0.0445 MPa and the internal friction angle θ , equal to 0.540 rad, values obtained from shear compression tests on adobe triplets [13, 14], is equal to 0.05 MPa [8, 15], in agreement with literature, even if it is much questionable if the present calculation provides a good measure of the tensile strength of the masonry composite.

Regarding the rubble stone base course, the mechanical properties were specified from reference values [16]. The physical nonlinear compressive and tensile behavior of masonry is described through a total strain rotating crack model [11, 17], and specified values of fracture energy G_f for tension and G_c for compression [18]. The elastic mechanical properties of timber ties, wall plates and lintels are determined from characterization tests in two case study buildings [9], with the highest values assigned to the timber lintels, in order to avoid excessive concentration of stresses in the proximity of the openings.

During the experimental in situ campaign in May 2015, direct and indirect sonic tests were conducted, regarding one indirect setup in the rubble stone masonry, and two indirect and one direct setups for the adobe masonry, in specified locations [10]. The sonic tests in the adobe masonry exhibit good correlation, whereas the values for the stone masonry are more disperse, mainly due to the irregular bond. The implemented mechanical properties, and the recommended fracture energy values [19], for the adobe and rubble stone masonry are presented in Table 1.

Table 1. Mechanical properties of structural elements.

Mechanical properties		Adobe masonry	Rubble stone masonry	Timber	
				Lower	Higher
Compressive strength	f_c (MPa)	0.45	0.60	33.4 ⁵ / 4.7 ⁶	38.1 ⁵ / 6.3 ⁶
Modulus of elasticity	E (MPa)	100 ¹ / 270 ²	300 ¹ / 1570 ²	7830	10680
Poisson's ratio	ν (-)	0.2	0.2	0.2	0.2
Tensile strength	f_t (MPa)	0.05	0.06	47.8 ⁵ / 1.6 ⁶	64.1 ⁵ / 1.8 ⁶
Fracture energy Mode I (tension)	G_f (N/mm)	0.01	0.01	-	-
Fracture energy (compression)	G_c (N/mm)	1.0	1.5	-	-
Specific weight	ρ (kN/m ³)	19 ³	19 ⁴	3.9	4.8

¹ Literature review

² Sonic tests [18]

³ Vecchi, S.S. (2009) Peru

⁴ Table 11.D.1 of OPCM 3431, 2005 [19]

⁵ Parallel to grain [11]

⁶ Perpendicular to grain [11]

A 3D FE model was built in Midas FX+ Version 3.3.0 for DIANA software (Fig. 4). The base connection was modelled as pinned, while all intersecting adobe walls and the connection between the plinth and adobe were modelled with full connectivity. The configuration of the anchoring consists of a combination of three to four single tie beams of 0.6 m length, fixed in the exterior surface of the walls. The tie trusses, of 20 cm in diameter, share no bonding along their embedment in the adobe walls. This simulation takes into account the capacity of the adobe walls under compression, under lateral loads.

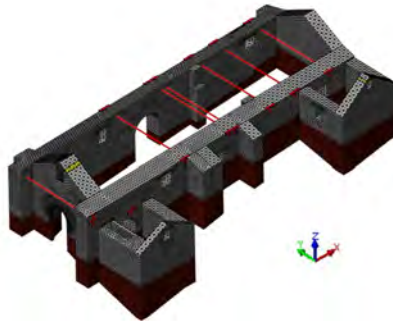


Fig. 4 FE model in 3D view.

The lateral roof thrust, is assigned as a uniform distributed load, with a vertical and horizontal component. The floor level is configured in three elevations, reaching a clear height of 1.6 m in the north part and corresponds to a significant volume of compacted clay. The counteracting earth pressures are assigned as a distributed surface load in three zones, approximating the triangular distribution of the Coulomb earth pressure [19].

The dynamic behavior of the church of Kuño Tambo, as identified from ambient tests conducted in May 2015 [10], is characterized by out-of-plane bending modes, in single and second order curvatures, for the lateral and gable walls of the nave. These configurations provide feedback on the low level of connectivity at the corners, approximating true cracks.

Experimental mode 1 (1.59 Hz) consists of independent orthogonal bending modes, of single curvature, for the nave walls, configured in an out-of-phase symmetry in both axes, with high peaks and similar amplitudes, clearly due to similar stiffness, mass and damping properties (Fig. 5a). Due to the presence of damage, an evident decrease of the natural frequencies and an alteration of the mode shape vectors are found, in comparison to the results of modal analyses, with total continuity in the wall connections, and no ties present.

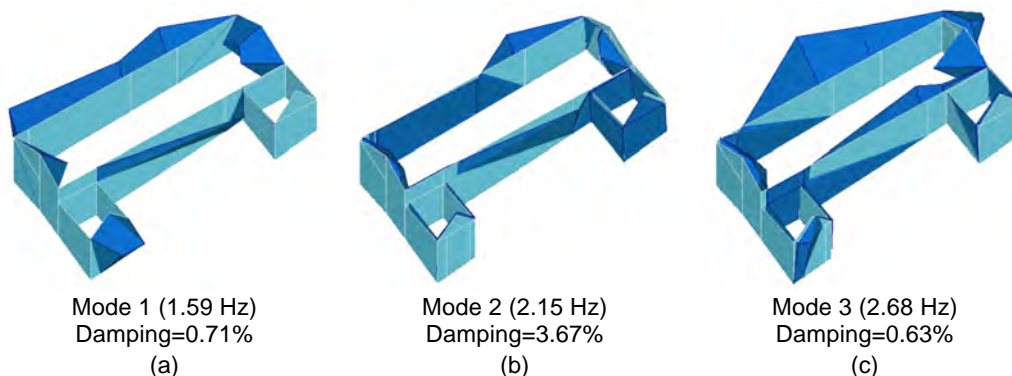


Fig. 5 Mode shapes from dynamic tests, of the first three modes, with interpolation [10].

As far as the modelling is concerned, the nonlinear behavior of the interfaces, representing the cracks, as well as the elastic behavior of the soil-structure interface, would introduce many uncertainties in the numerical model and therefore they were not included in the

nonlinear analysis. A homogeneous modelling approach was followed, with the structure pinned at base, a decision found better suited for large-scale models, which allows discussing the current condition.

3. PUSHOVER ANALYSIS

The global structure was first subjected to increasing dead loads up to the full gravity. The nonlinear static analysis, revealed lateral displacements in order of millimeters and almost no cracking. Here, two models are presented; Model GM1, a more conservative one, with material properties taken from literature and Model GM2, with material properties retrieved from the in-situ testing campaign.

Regarding the seismic effects, the progression of tensile and compressive damage and the corresponding lateral capacity, were evaluated by applying a mass proportional lateral load. In total, four pushover analyses were conducted, in the x-x and y-y main axes, both in positive and negative directions. Additionally, the effect of the lateral restraint due to timber ties, was investigated by two modelling approaches: one with the presence of timber ties, hinged on a system of timber anchors; and the other without any lateral restraint. Load-displacement curves and damage patterns from load steps near collapse, correlated with the documented damage, are presented in Fig. 6 and Fig. 7.

Regarding the pushover analysis in the positive x-x direction, the minimum lateral load applied is 0.22g for Model GM1_{no ties} (Fig. 6a). The failure mechanism consists of vertical separation cracks, along the corners, in the west part of the church, with horizontal hinge lines at the bottom of the base course foundation. Model GM2 is stiffer and the lateral capacity is around 30% higher than Model GM1, with the ties not offering any strengthening in the longitudinal direction.

The structure experiences the lower lateral capacity in the positive y-y direction, equal to 0.19g (GM1_{no ties}) (Fig. 6b). With the presence of ties, the obtained capacity values are 47% and 37% higher than the ones without ties, for models GM1 and GM2 respectively. Regarding the ties, are all under tension and their ultimate capacity is specified from the pull-out failure of their anchored connection. From tests on timber ties and wood key anchors, on adobe specimens of various thicknesses, conducted at PUCP [9], and given the thickness of the lateral walls, the maximum pull-out force is 96 kN, but partial safety factors should be considered. For ties close to the corners, the ultimate axial force is reached at the early stages of post-peak behavior. Due to transversal restraint, interfaces between the east lateral wall, the baptistery, the buttresses and the sacristy suffer extensive tensile damage and are almost separated.

In the negative x-x direction, the failure mode consists mainly of the out-of-plane overturning of the east façade, together with adjacent fragmented parts of the lateral walls, as shown in Fig. 6c and Fig. 7. The minimum obtained lateral capacity is 0.28g in the less stiff model (GM1_{no ties}). With effective ties, the structure presents higher capacity and the ties appear to provide some restraint to the lateral walls and limit flexural out-of-plane deflections. Nevertheless, this is considered a local effect.

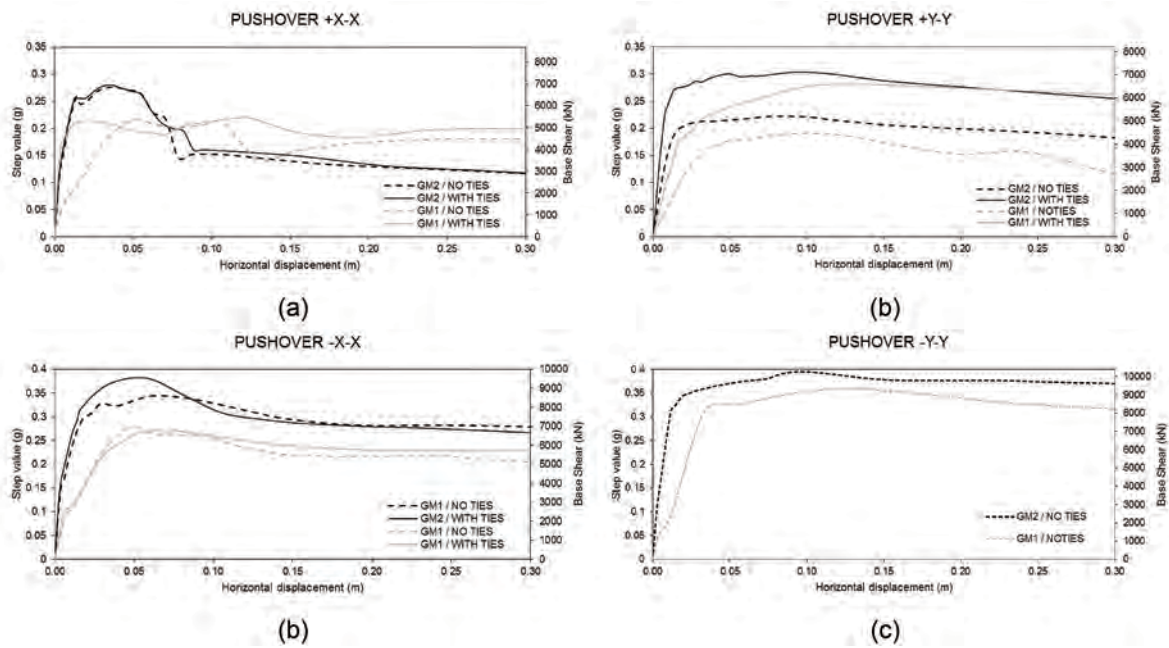


Fig. 6. Response of structure in all directions and axes, for Models GM1 and GM2.

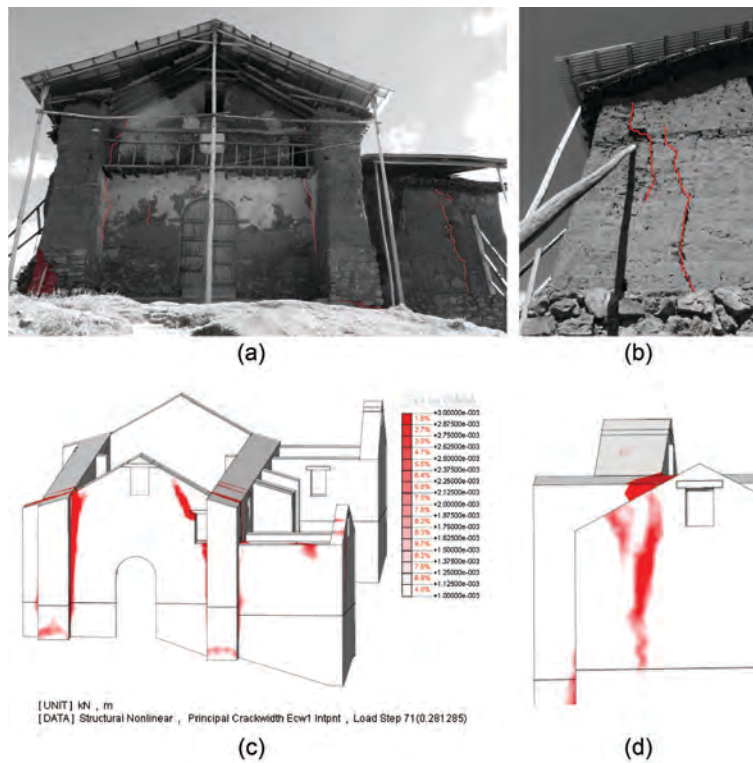


Fig. 7. Crack pattern correlation: (a) east façade; (b) gable wall of baptistery; (c), (d) distribution of principal crack width at load step near collapse (Model GM2_{no ties}).

Lastly, from the results of the pushover analysis in the negative direction of the y-y axis, the structure presents the highest lateral capacity, in this case 0.36g and 0.39g (Fig. 6d), for Models GM1 and GM2 respectively, with the abutments on the north part contributing much more to the overall stiffness. The tensile damage is mostly concentrated in the sacristy, which fails early at 0.16g and 0.25g for models GM1 and GM2 respectively. Yet, no such damage exists on current state. Regarding the behavior of the tie beams, their axial force is gradually reversing from tension to compression, due to the difference of

stiffness, between the lateral walls. Nevertheless, in order for the ties to work in tension and compression, anchor keys at both sides of the walls are needed or an internal timber truss. Since no such connections were identified, the behavior of the ties is questionable.

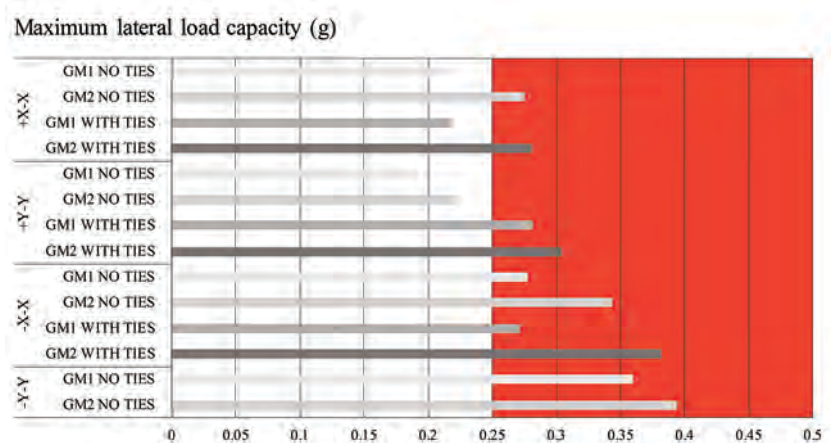
CONCLUSIONS

The seismic vulnerability of the Kuño Tambo Church was studied, aiming at reproducing the existing damage patterns and assessing safety under current conditions. Tensile crack patterns were obtained and correlated with the observed ones, indicating that the current damage have been induced partly by past seismic actions and settlements. In-situ inspection, together with dynamic and sonic testing, offered substantial information regarding the structural behavior, under the current damage.

The system of tie beams and their connection with the adobe walls of the nave can have a significant effect on the transversal behavior. Under the current condition, given the visual inspection and the results of the dynamic identification tests, the system of ties is considered inactive. Thus, the model with no ties is considered representative of the structure at current condition.

According to the pushover analyses, strengthening is needed in multiple directions, since the overall capacity does not reach the peak ground acceleration for the Cusco region (0.25g) [20], as depicted in Table 2. One of the structural deficiencies of the church is the large asymmetric distribution of stiffness in the transverse direction of the nave. The failure mode with the lowest capacity, the out-of-plane overturning of the south lateral wall, controls the response, and the obtained minimum value is 0.19g, for the less stiff model. The possible reintroduction of the buttresses in the east part will increase the stiffness and global capacity.

Table 2. Maximum lateral capacity in each direction, in Models GM1 and GM2.



The ties have a significant effect to the lateral capacity in the positive y-y direction. Yet, the capacity of the connections is considered low and given the dynamic character of the seismic forces, their performance is questionable. In order for the ties to work both in tension and in compression, anchor keys at both sides of the walls are needed or an internal timber truss is required. This would be a required practice in the definition of strengthening measures. New ties should also be added to reduce the large spacing between existing ones, as well as in the top of the baptistery and sacristy sidewalls, in order to limit out-of-plane collapse modes. The connectivity in the intersections between

walls can also be enhanced with the use of corner keys, placed in intersections between orthogonal walls.

Lastly, several areas of the building are in need of stabilization actions, due to mortar joint loss and loss of adobe and stone units. Immediate action is recommended to prevent damage increase and reduce the risk of fabric loss.

ACKNOWLEDGEMENTS

The current work is part of the Seismic Retrofitting Project, of the Getty Conservation Institute and was partly supported by FCT (Portuguese Foundation for Science and Technology), within ISISE, project UID/ECI/04029/2013.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Lourenço, P.B., Mendes, N., Ramos, L.F., Oliveira, D.V. (2011). *On the Analysis of Masonry Structures without box behavior*, Taylor & Francis.
- [2] Tolles, E. L. (1996). *Survey of Damage to Historic Adobe Buildings after the January 1994 Northridge Earthquake*, Getty Conservation Institute, Los Angeles, US.
- [3] Cancino, C., Lardinois, S., D'Ayala, D., Ferreira, C.F., Dávila, D.T., Meléndez, E.V., Santamato, L.V. (2013). *Seismic Retrofitting Project: Assessment of Prototype Buildings Volume 1*, Getty Conservation Institute, Los Angeles, US.
- [4] Lourenço, P.B. (1998). *Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behavior of masonry. Structural Analysis of Historical Constructions II: Possibilities of Numerical and Experimental Techniques*. Barcelona: International Center for Numerical Methods in Engineering.
- [5] Zanotti, S. (2015). *Seismic Analysis of the Church of Kuño Tambo (Peru)*. SAHC Master Thesis, University of Minho, Portugal.
- [6] FEMA 306 (1998). *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings - Basic Procedures Manual*, Applied Technology Council (ATC-43 Project).
- [7] NTC (2008). *Norme tecniche per le costruzioni - Il Capo del Dipartimento della Protezione Civile II*, Ministro Delle Infrastrutture, Italy (in Italian).
- [8] EN 1996-1-1 (2005). *Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. European Committee for Standardization.
- [9] SRP (2014) *Testing Modeling Report on the SR project internal report*, Getty Conservation Institute, Los Angeles, US.
- [10] Greco, F., Karanikoloudis, G., Lourenço, P.B., Mendes, N. (2015). *Experimental In Situ Testing Campaign on Adobe Historic Structures in Peru, within the Getty SR Project*, University of Minho, Portugal. (Report 2015-DEC/E-30)
- [11] Tomazevic M. (1999). *Earthquake-resistant design of masonry buildings*. Imperial College Press, London, UK.
- [12] Angelillo, M., Lourenço, P.B., Milani, G. (2014). *Masonry behavior and modelling, Mechanics of Masonry Structures*, CISM International Centre for Mechanical Sciences Volume 551, pp 1-26.

- [13] Grau, P.N., Neumann, J.V., Beas, M. (2006). *Seismic Retrofitting Guidelines for the Conservation of Doctrinal Chapels on the Oyón Highlands in Peru*, Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006, Getty Conservation Institute, Los Angeles, US.
- [14] Lumantarna, R., Biggs, D.T., Ingham, J.M. (2014). *Uniaxial Compressive Strength and Stiffness of Field-Extracted and Laboratory-Constructed Masonry Prisms*, ASCE Journal of Materials, Vol 26, No.4, pp.567-575.
- [15] FEMA 356 (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. ASCE for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., US.
- [16] OPCM 3431 (2005). *General criteria for the seismic zonation of the national territory and technical normative for buildings in seismic zones*, Ordinanza P.C.M. n. 3431 del 3 Maggio 2005, Modification of Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 (in Italian).
- [17] DIANA (2014). *Manuals TNO DIANA*. (<http://tnodiana.com/DIANA-manuals>)
- [18] Lourenço, P.B. (1996). *Chapter 2: Modelling Masonry: A Material Description. Computational Strategies for Masonry Structures*. Delft, Netherlands: Delft UP, 11-26.
- [19] Lourenço, P.B. (2014). *Presentation SA2_12: Modelling of masonry and homogenization*, SAHC Masters. University of Minho, Guimarães, Portugal.
- [20] NTE-0.30 (2016). *National Building Code - Technical Standard of building E.030 Earthquake-Resistant Design*, Lima, Peru.

Authors' biographical notices

Georgios Karanikoloudis, graduated from the Civil Engineering Department of Aristotle University of Thessaloniki in 2005. In 2014 he received the Erasmus Mundus Advanced Master's in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, from CTU, in Prague and UMinho, in Portugal. He is a PhD researcher in the field of soil-structure interaction of cultural heritage buildings, in the University of Minho. His research domains include structural assessment of monuments, with focus on numerical modelling.

Paulo B. Lourenço, is full professor, head of the Structural Group at University of Minho and Coordinator of the Historical and Masonry Structures Unit. He is Co-Head of the Institute in Sustainability and Innovation in Structural Engineering (www.isise.net) and a specialist on structural conservation and restoration of historic buildings.



El empleo del ultrasonido en tapia de tierra apisonada

Maria Virgínia SIMÃO PEIXOTO, Marco Antônio PENIDO DE REZENDE,
Luiz Antônio CRUZ SOUZA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Resumen

Los testes no destructivos han ganado importancia en el campo de la conservación. El ultrasonido ha atraído la atención de los investigadores de conservación debido a sus bajos costos y a la interferencia mínima en la estructura analizada.

El objetivo principal fue estudiar la correlación (o su falta) entre la velocidad de la onda de ultrasonido y la resistencia (compresión) en los paneles de tierra apisonada.

Se construyeron cinco paneles en tierra apisonada. En cuatro de ellos se retiró un ejemplar para probar y en el quinto se hicieron los testes de ultrasonido en el propio panel. La tierra utilizada fue similar a la que se encuentra en la mayor parte de las construcciones del patrimonio en Tierra en Brasil (región del estado de Minas Gerais). Los resultados se resumen en el gráfico, que presenta la relación entre resistencia y velocidad de la onda de ultrasonido.

Los resultados de los ensayos en los cuatro paneles de la primera etapa fueron insatisfactorios. En la segunda etapa los ensayos en el minipanel 5 produjeron resultados satisfactorios.

Con los resultados obtenidos en el quinto minipanel se comprobó la posibilidad de emplear ultrasonido en la evaluación de las características físicas y mecánicas en estructuras de tierra apisonada.

Palabras claves: Testes no destructivos. Ultrasonido. Ultrasonido y construcción con tierra. Tierra apisonada

1 INTRODUCCIÓN

La herencia de la arquitectura de tierra en Brasil es muy rica. El estado de Minas Gerais cuenta con un importante acervo, sin embargo, se encuentra en un precario estado de conservación.

En el desarrollo de la restauración de edificaciones en tierra hay que conocer el estado físico en el que se encuentran dichas construcciones. En la etapa de diagnóstico, los ensayos que hay que realizar, por medio de la evaluación de las características físicas y mecánicas del material empleado, en general son destructivos e implican la retirada de cuerpos de prueba (REZENDE, RODRIGUES, 2007). Como ese procedimiento no es el ideal, surge la necesidad de desarrollar nuevas formas de hacer el diagnóstico del estado de las construcciones, con la intención de no dañar, sino conservar la edificación, por medio del empleo de ensayos no destructivos.

La técnica del ultrasonido es una forma de alcanzar ese objetivo y ya se emplea en estructuras de algunos materiales como el hormigón y el acero. Por lo tanto, la propuesta es la de comprobar la viabilidad de su utilización también en la arquitectura de tierra, buscando determinar las condiciones físicas y mecánicas sin causar daños a su estructura.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el período de la colonización brasileña la tierra fue ampliamente utilizada en la construcción de las edificaciones en prácticamente todas nuestras villas y poblados.

Rezende y Rodrigues (2007), a partir de estudios realizados en ruinas y monumentos históricos construidos en tapia de tierra apisonada, desarrollaron una metodología para la reconstitución de las construcciones de esta tipología.

Yesiller et al (2000) desarrollaron un estudio con la intención de investigar el uso de métodos ultrasónicos en la determinación de características de compactación de suelos arcillosos. En ese estudio comprobaron que la resistencia de un suelo se ve afectada por más factores, además de la dureza, y que incluye vacíos, imperfecciones y defectos. Por consiguiente, la resistencia del suelo no está directamente relacionada a la velocidad de la onda, aunque, generalmente, se suele asociar velocidades más altas a mayores resistencias. Se comprueba también el aumento de la velocidad con el aumento de la densidad seca del suelo debido al hecho de que la transmisión de onda es más rápida en lo sólido que en los vacíos (YESILLER et al, 2000).

Varum et al (2006), empleando la técnica de ultrasonido, un ensayo no destructivo, han realizado investigaciones en lo que respecta al comportamiento estructural de edificaciones construidas con albañilerías de adobe, a partir de la estimación de la resistencia y del módulo de rigidez que esta presentaba. Tenía como objetivo desarrollar directrices de procedimientos de rehabilitación de estas estructuras y crear un conjunto de estrategias de acciones para prevenir que colapsaran. Unas de las causas posibles para que esta investigación no alcanzara los resultados esperados pudo haber sido la sensibilidad que presentó el aparato utilizado.

Bandeira (2009), en su estudio, buscando establecer una correlación entre resistencia mecánica y velocidad ultrasónica para un material terroso, después de realizar testes ultrasónicos y ensayos de ruptura a compresión simple en 78 cuerpos de prueba hechos del material terroso, concluye que existe una “fuerte correlación entre la tensión de ruptura y la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, cuyo coeficiente de correlación fue igual a 0,96” (BANDEIRA, 2009, p77).

3. METODOLOGÍA– ULTRASONIDO

3.1 – Metodología de la primera etapa de la investigación.

En una primera etapa de esta investigación se construyeron cuatro minipaneles en tapia de tierra apisonada con las siguientes dimensiones: 2,0m de longitud, 1,20m de altura y 0,44m de espesura.

Fueron realizados ensayos de caracterización del suelo utilizado, entre ellos: análisis granulométrico, masa específica, límite de liquidez, límite de plasticidad y ensayos de compactación del suelo.

Los prototipos de las paredes en tapia de tierra apisonada fueron ejecutados a partir de la compactación del suelo dentro de moldes previamente trabajados, en capas sucesivas de, aproximadamente, 15 a 20cm.

El aparato de ultrasonido fue calibrado en todas las frecuencias utilizadas en ensayos, siendo estas: 82kHz, 150 kHz y 200 kHz. De acuerdo con el procedimiento normal se necesita la realización de tres medidas, siendo que los resultados registrados deben presentar una variación máxima de 5% del valor mediano obtenido.

3.2 – Metodología de la segunda etapa de la investigación.

3.2.1 – Ejecución del prototipo 5

Fue elaborado un tapial, con las siguientes dimensiones internas: 1,5m de longitud, 0,90 de altura y 0,44m de espesura. El suelo utilizado, similar al que se encuentra en la mayor parte de las construcciones del patrimonio en Tierra en Brasil (región del estado de Minas Gerais), fue previamente preparado, ya pasado por la criba, con tela de 4,8mm. Su compactación fue realizándose en sucesivas capas de, aproximadamente, 15 a 20cm, con el uso de un pisón de madera, con base en formato cónico. La retirada del molde del prototipo 5 se realizó 9 días después de su compactación.

3.2.2 Ensayo de ultrasonido en el prototipo 5

La calibración del aparato de ultrasonido fue realizada en todas las frecuencias utilizadas en los ensayos, siendo estas: 54kHz y 500kHz.

Para los testes se utilizaron transductores de 54kHz y 500kHz. De acuerdo con la norma BSI 1881, deben ser realizadas tres medidas, siendo que los resultados registrados deben presentar una variación máxima de un 5% del valor medio obtenido.



FIGURA 1: Panel 5.
Fuente: PEIXOTO, 2012.



FIGURA 2: Teste de ultrasonido en el Panel 5.
Fuente: PEIXOTO, 2012.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados de la primera etapa de la investigación

Los ensayos de ultrasonido realizados en los paneles produjeron resultados insatisfactorios. Se utilizaron los transductores de 82kHz, 150kHz y 200kHz. El sistema de medición utilizado fue el indirecto. El aparato no registró ninguna lectura en los prototipos 2, 3 y 4. Sólo el panel 1, el panel defectuoso, presentó lecturas, sin embargo, los datos generados no fueron considerados válidos.

Ante los resultados presentados por el ensayo del ultrasonido en los prototipos, se comprobó la necesidad de retirar los cuerpos de prueba en el área cercana a las esquinas de los prototipos, despreciando las regiones lesionadas debido a la retirada de los moldes. Estas muestras presentan, aproximadamente, las siguientes dimensiones: 10,0x10,0x44,0cm.

Para los ensayos de ultrasonido, realizados en los cuerpos de prueba retirados de los paneles, fueron utilizados los transductores de 82kHz, con 32mm de diámetro. Como acoplante, en la calibración, se usó betún. En los ensayos en los cuerpos de prueba se usó pegamento blanco escolar. El sistema de medición fue el indirecto.

En el panel 1 se comprobó el mayor tiempo medio de propagación y la menor velocidad media de propagación, factores que pueden explicarse debido a la mayor presencia de agua en su constitución. Los paneles 2 y 3 exhiben valores aproximados para tiempo medio de propagación y velocidad media de propagación, observándose una disminución del tiempo y un aumento de la velocidad. Por otro lado, el panel 4, compactado con la tierra bien seca, muestra el menor tiempo medio de propagación y la mayor velocidad de propagación entre todos. De acuerdo con esos datos se puede observar que la humedad presenta una relación directamente proporcional al tiempo de propagación de la onda e inversamente proporcional a su velocidad al recorrer el cuerpo de prueba.

4.2 Resultados de la segunda etapa de la investigación

4.2.1 Caracterización geotécnica del suelo de los prototipos

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los ensayos de caracterización del suelo utilizado en este trabajo, este podrá ser clasificado, según la Asociación Brasileña de Normas Técnicas - ABNT, como una arcilla areno limosa de color amarilla, altamente plástica, con poquísimo pedregullo.

4.2.2 Ensayo del ultrasonido en el prototipo 5

Los ensayos de ultrasonido realizados en los paneles produjeron resultados satisfactorios. Se realizaron, según la norma BSI 1881 Parte 206 – Ultrasonic Test for concrete, con el equipamiento modelo PUNDIT, fabricado por la empresa CNS, utilizados los transductores de 54kHz con sistema de medición indirecto y transductores de 500kHz con sistema de medición utilizado directo. El acoplante utilizado fue gel.

En los ensayos ejecutados con el uso del transductor con frecuencia de 54kHz el punto 1 presentó menor tiempo medio de propagación y mayor velocidad media de propagación con respecto al punto 2. Se comprobó una mayor amplitud en el punto 1 y más variancia y desvío estándar en el punto 2.

Aún en el punto 1 se usaron ensayos con transductores con frecuencia de 500kHz y, diferentemente del ensayo con transductor de 54kHz, donde el sistema de medición utilizado fue el indirecto, en estos el sistema usado fue el directo. Se pudo comprobar que ocurrían mayores tiempos para la propagación de la onda, el fenómeno puede explicarse por la distancia a ser recorrida, ya que, en los ensayos indirectos, la distancia entre transductores era de 5cm y en los ensayos directos (sistema usado con el transductor de 500kHz) la distancia era de 44cm. Sin embargo, se registraron mayores velocidades de propagación de la onda, seguramente debido a la frecuencia del transductor y al sistema directo de transmisión. Aún en este ensayo se observaron la aparición de mayor variancia y desvío estándar entre los tiempos marcados y las velocidades obtenidas por la onda ultrasónica.

4.2.3 Resultados del prototipo 5

En esta 2ª etapa de la 2ª fase se obtuvieron resultados tanto para la frecuencia de 54kHz como para la de 500kHz.

Con los resultados anteriormente descritos se comprobó la posibilidad de la elaboración de gráficos, con base en ecuaciones desarrolladas a partir de los gráficos de resultado final, obtenidos en la investigación de la autora Bandeira (2009), donde se desarrolla un estudio de correlación entre la resistencia mecánica y la velocidad ultrasónica en materiales terrosos.

4.2.3.1 Resultado final para los ensayos con transductores de 54kHz

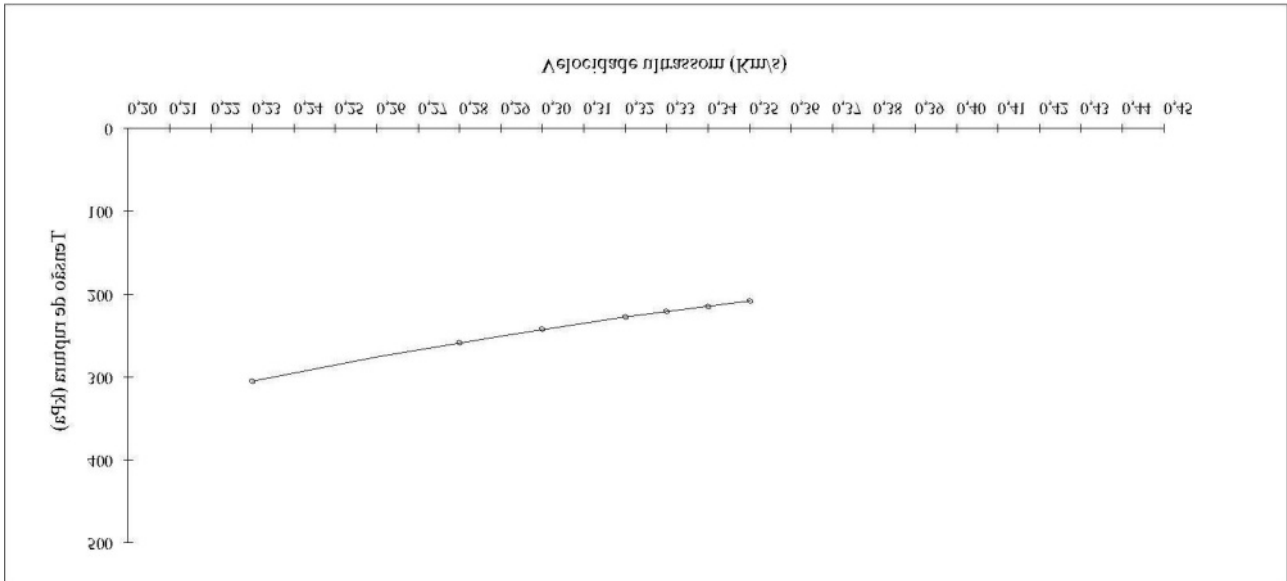


FIGURA 3 – Gráfico – Tensão de ruptura x velocidade ultrasónica
FUENTE: BANDEIRA, 2009. p. 74. Adaptado por: PEIXOTO, 2011

El gráfico de la figura 3 muestra que las menores velocidades de onda corresponden a las mayores tensiones de ruptura.

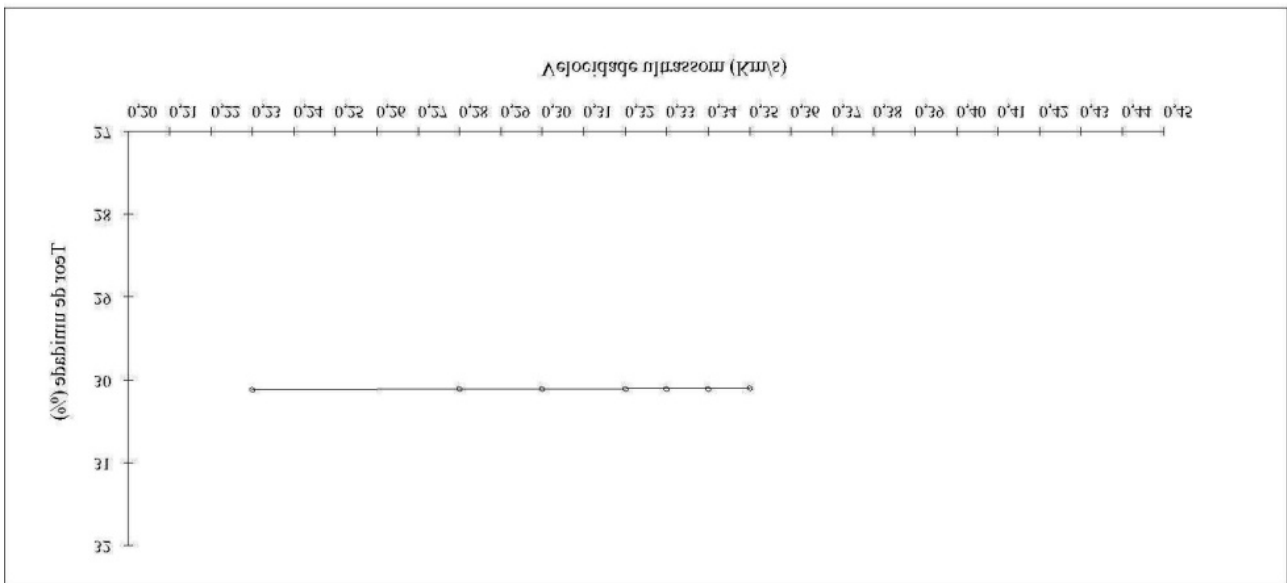


FIGURA 4 – Gráfico – Tenor de humidade x velocidade ultrasónica
FUENTE: BANDEIRA, 2009. p. 74. Adaptado por: PEIXOTO, 2011

Al analizar el gráfico de la figura 4 se puede comprobar que las mayores velocidades tienen lugar en suelos que presentan menores tenores de humedad.

4.2.3.2 Resultado final para los ensayos con transductores de 500kHz

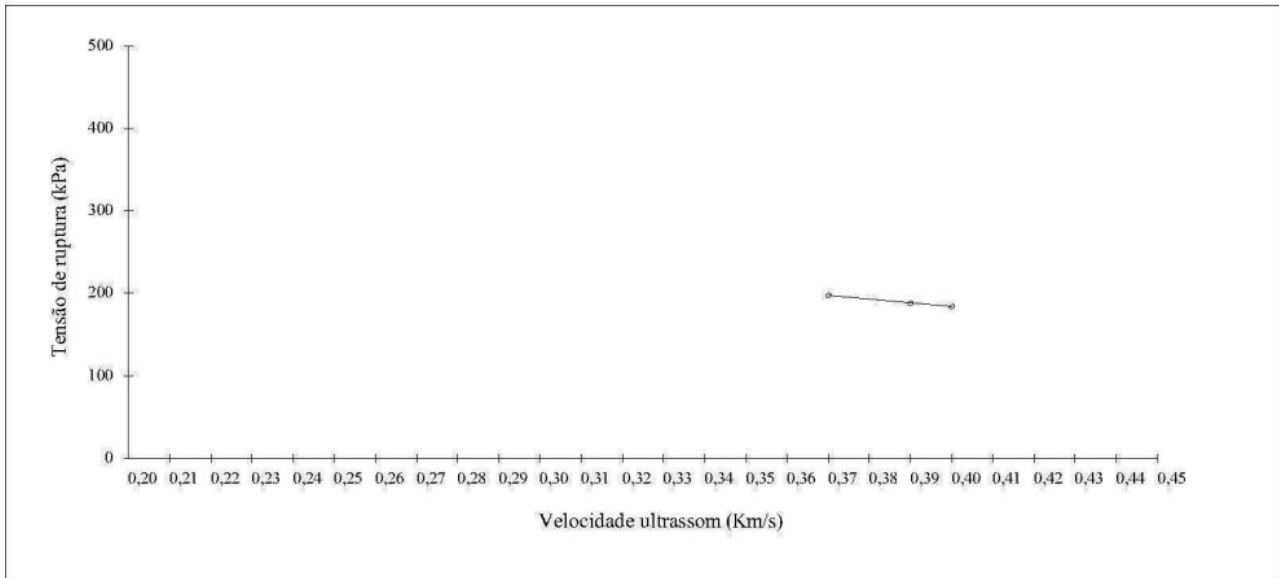


FIGURA5 – Gráfico – Tensão de ruptura x velocidade ultrasónica
FUENTE: BANDEIRA, 2009. p. 74. Adaptado por: PEIXOTO, 2011

El gráfico de la figura 5 muestra que las menores velocidades de onda corresponden a las mayores tensiones de ruptura.

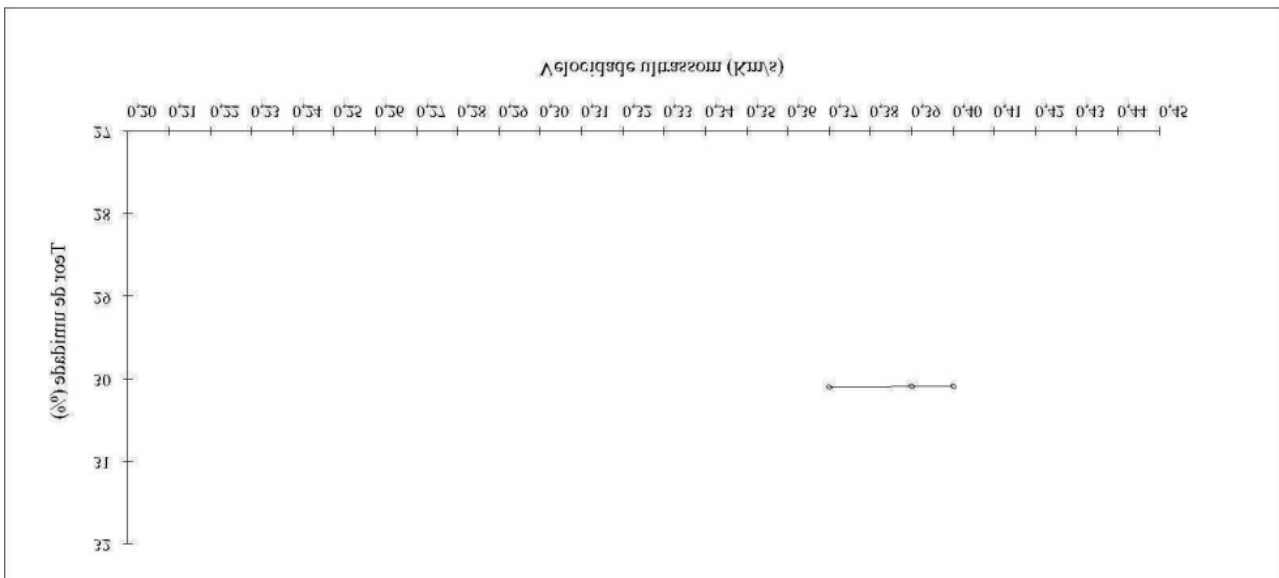


FIGURA 6 – Gráfico – Tenor de humedades x velocidade ultrasónica
FUENTE: BANDEIRA, 2009. p. 74. Adaptado por: PEIXOTO, 2011

Al analizar el gráfico de la figura 6 se puede comprobar que las mayores velocidades tienen lugar en suelos que presentan menores tenores de humedad.

5 CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo como objetivo principal verificar la viabilidad de la aplicación de ultrasonido como método de evaluación no-destruccionista de las condiciones de resistencia presentada por estructuras erguidas en material terroso.

En la primera fase de la investigación quedó comprobada la correlación existente entre velocidad ultrasónica y resistencia. En la primera etapa de la segunda fase no se obtuvieron lecturas en la mayoría de los prototipos y solo uno presentó lectura, por lo que estos resultados fueron considerados inválidos. Siendo así, la correlación no pudo ser verificada a partir de testes realizados directamente en la pared. Sin embargo, al ser retirados cuerpos de prueba con dimensiones mayores que los de la primera fase, en estos el ultrasonido presentó lectura y generó resultados válidos.

En la segunda etapa de la 2ª fase, al ser construido un prototipo más, siendo este ejecutado con suelo con mayor tenor de arcilla y menor tenor de limo, una arcilla areno limosa, y compactado con pisón adecuado, de madera, con la base en formato cónico, dentro de la forma construida siguiendo los moldes del tapial y con empleo de madera más resistente y adecuada para absorber mejor el impacto de la energía de la compactación, presentó menos rajaduras y pulverizaciones y, consecuentemente, menor cantidad de vacíos internos. Con ello, los testes que se realizaron en él demostraron resultados válidos en las dos frecuencias usadas: 54kHz y 500kHz. Se constató que las mayores velocidades ocurren en suelos que presentan menores tenores de humedad y las menores velocidades de onda corresponden a las mayores tensiones de ruptura.

Por lo tanto, al parecer, todo señala que es necesario profundizar más los estudios en esta área, del uso de la tecnología del ultrasonido, en la inspección de estructuras en tierra, buscando desarrollar una metodología para ensayos ultrasónicos que pueda aplicarse en la verificación de la calidad y resistencia presentada por las construcciones erguidas en sistema estructural de tierra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANDEIRA, R. F. (2009). *Estudo da correlação entre resistência mecânica e velocidade ultrassônica para um material terroso*, UFMG, Belo Horizonte.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (1986). *BSI 1881: Part 203. Testing concrete – Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulse in concrete*, London.
- PEIXOTO, M. V. S. (2011). *Metodologia para aplicação de ensaios ultrassônicos em mini painéis de taipa de pilão*, UFMG, Belo Horizonte.
- REZENDE, M.A.P & RODRIGUES, R (2007) – *Projeto Piloto. Avaliação da Integridade Mecânica em Painéis de Taipa de Pilão Utilizando a Técnica do Ultra-som*, UFMG/CNPQ, Belo Horizonte.
- VARUM, H. et al. (2006). *Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe*. Mendoza, Argentina, p. 48-51.
- YESILLER, Nazli. et al. (2000). Ultrasonic Testing for Compacted Clayey Soils. *Advances in Unsaturated geotechnics*, p. 54-68.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – la financiación para el desarrollo de la investigación.

INFORMACIÓN SOBRE LOS AUTORES

Maria Virgínia Simão Peixoto

Licenciada en Arquitectura y Urbanismo (PUC-MG, 2000). Especialista en Revitalización Urbana y Arquitectónica (UFMG, 2007) y Master en Ambiente Construido y Patrimonio Sostenible por la Escuela de Arquitectura (UFMG, 2011). Doctoranda – Escuela de Bellas Artes – UFMG. Profesor asistente en la Escuela de Arquitectura y Urbanismo (Centro Universitario de Belo Horizonte – Unibh).

Marco Antônio Penido de Rezende

Profesor Asociado en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Federal de Minas Gerais. Licenciado en Arquitectura y Urbanismo (UFMG, 1987), Master en Arquitectura y Urbanismo (UFMG, 1998), Doctor en Construcción Civil (Poli-USP, 2003), Post-Doctorado en arquitectura vernácula con el Programa de Preservación Histórica de la Universidad de Oregon, EE.UU. (2010).

Luiz Antônio Cruz Souza

Profesor asociado – LACICOR / CECOR, Escuela de Bellas Artes – UFMG. Licenciado en Ciencias Químicas (UFMG, 1986). Master en Química – Ciencia de la conservación de bienes culturales (UFMG, 1991). Doctor en Química (UFMG, 1996). Post-Doctorado en metodologías científicas aplicadas en el arte y arqueología (Universidad de Perugia, Italia, 2014).



Tierra vertida compactada, estabilizada con cal y puzolanas

Luis Fernando GUERRERO BACA, Francisco Javier SORIA LÓPEZ

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

El presente texto caracteriza un sistema constructivo basado en la técnica de la tapia pero que gracias al equilibrio entre la humedad requerida para su elaboración y el manejo de la estabilización del suelo con cal y puzolanas, puede ser compactada con notable facilidad y velocidad dentro de moldes ligeros. El trabajo parte de la identificación de las necesidades constructivas de una zona del centro de la República Mexicana donde históricamente se edificó con tapia, pero que en la actualidad está perdiendo su tradición. En la ponencia se detallan las premisas de la búsqueda por optimizar los procesos constructivos para hacerlos accesibles mediante un sistema de edificación totalmente manual y se analiza su implementación en dos edificios concretos: un módulo experimental desarrollado con el fin de monitorear su comportamiento higrotérmico, y una vivienda de dos niveles en la que se pudo documentar el procedimiento completo de su elaboración. Los resultados son muy alentadores porque gracias a la estabilización de la tierra y a su compactación por capas, se han obtenido componentes constructivos óptimos para la autoconstrucción asistida de viviendas, con destacables resistencias mecánicas e hídricas, y con cualidades bioclimáticas apropiadas para climas templados como los que predominan en México.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las diversas técnicas de construcción con tierra desplegadas en México, la tapia ha sido de las menos estudiadas a pesar del amplio desarrollo que alcanzó durante los dos siglos pasados en la construcción vernácula de regiones del centro del país. Aunque la tierra compactada tiene orígenes prehispánicos la edificación de muros realizados mediante al uso de encofrados, proviene de influencias europeas posteriores a la época de la conquista.

Lamentablemente, la tradición constructiva con tapia ha decaído drásticamente y actualmente casi no se realiza, perdiéndose una valiosa cultura constructiva que además tiene un alto potencial desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, social y económica.

Entre las razones que más han incidido en su pérdida se encuentra el requerimiento de gruesos muros que demandan mucha tierra por compactar y ocupan amplias áreas de desplante en predios que con el desarrollo periurbano, cada vez incrementan más su costo. Por otra parte, la elaboración de muros de tapia demanda un fuerte trabajo físico de compactación además de que los encofrados requeridos tienen que hacerse con gruesos tablonés o bien, con placas metálicas para resistir tanto el peso del material como los golpes del pisón.

Finalmente, un problema que se presenta en el manejo de la vivienda de tapia, deviene de su vulnerabilidad ante las afectaciones hídricas derivadas de la lluvia, el granizo, la absorción capilar de los mantos freáticos y los procesos de congelamiento que se presentan en invierno.



Figura 1. Erosión basal de muros históricos de tapia. Calpan, Puebla. Foto: Luis Guerrero.

Ante esas condicionantes, en la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, en la Ciudad de México, se planteó un proyecto de investigación aplicada, tendiente a optimizar la técnica de la tapia, pero incorporando un método que estableciera un equilibrio entre la fuerza de compactación requerida y la humedad óptima, para suelos que fueran estabilizados con hidróxido de calcio.

2. PREMISAS DE LA PROPUESTA

La mayoría de los procesos constructivos que han aspirado a actualizar la edificación con tapia al incorporar la lógica constructiva del hormigón armado, utilizan tierra moldeada en estado plástico. Sin embargo, para agilizar su secado y endurecimiento, estos sistemas alternativos (tierra vertida, suelocemento, *cast earth*, *poured earth*, H.T.E., etc.) emplean cemento o yeso, y se vierten en grandes moldes deslizables, soportados por complejos sistemas de apuntalamiento y requieren de sistemas automatizados de mezclado y bombeo del material constructivo.

Tales condiciones obedecen al hecho de que estas técnicas se han desarrollado principalmente en países en los que la mano de obra es costosa por lo que buscan tecnificar los procesos, además de estar generalmente localizados en zonas débilmente sísmicas.

Empero, en la UAM-Xochimilco, desde el año 2009 se desarrollan ensayos y prototipos tendientes a ampliar la aplicabilidad de la tecnología de la tierra, a partir de su estabilización con cal, porque genera mucho menor impacto ambiental que el cemento (Guerrero, Roux y Soria, 2011). Sin embargo, dado que algunos tipos de arcillas no se llegan a estabilizar adecuadamente al añadirles hidróxido de calcio (Fernández, 1992: 114) se planteó la estrategia de agregar a las mezclas, cal aérea combinada con materiales puzolánicos tales como zeolita, piedra pómez, cenizas volcánicas, diatomeas y polvo de ladrillo (Guerrero y Soria 2014).

De este modo las arcillas presentes en el suelo que tienen capacidad de reaccionar con la cal, quedan adecuadamente consolidadas (Hoffmann et. Al., 2011). Pero el sistema se refuerza gracias a la formación de sílicoaluminatos de calcio, derivados de la reacción hidratada entre la cal y los materiales puzolánicos agregados adicionalmente a la tierra (Sepulcre, 2005).

Además de esta premisa de comportamiento químico del material estabilizado, se buscó plantear una alternativa tanto a los procedimientos constructivos de tierra vertida convencionales que demandan de alta tecnología, como a la edificación con tapial, que como ya se mencionó, implica una elevada incorporación de recursos materiales y energéticos, sean mecanizados o humanos.

La propuesta parte de considerar a los muros no como estructuras monolíticas sino como mamposterías de grandes bloques, que desarrollen respuestas flexibles ante sismos, pero que se puedan construir con moldes pequeños y livianos, fácilmente desplazables por operarios poco tecnificados, así como por autoconstructores.



Figura 2. Taller comunitario de transferencia de tecnología en Oaxaca, México. Foto: Luis Guerrero.

Pero la clave para cumplir con estos objetivos radica en contar con elementos de tierra vertida que se puedan desmoldar en poco tiempo, habiendo adquirido una densidad tal que les confiera la consistencia adecuada para poder avanzar de manera dinámica en la conformación de las hiladas.

Siglos de experiencia en la construcción de componentes de tapia han demostrado que la tierra para ser adecuadamente compactada, requiere de bajos niveles de hidratación, los cuales giran en torno al 10%, dependiendo de la granulometría del material.

Como se sabe, cuando se pretende compactar capas de tierra con espesores mayores a los 8cm, se presenta un fenómeno de amortiguamiento caracterizado por un diferencial de densidad entre las partes altas en contacto con el pisón y las zonas más profundas. Este fenómeno se vuelve crítico al aumentar la cantidad de agua presente en el suelo. La tierra húmeda atenúa los golpes de las herramientas para compactar y solamente adquieren densidad las capas altas.

Es por esto que los componentes constructivos que se han experimentado, se realizan agregando prácticamente el doble de volumen de agua, es decir, entre un 25 y un 30%, pero los encofrados se llenan mediante la superposición de capas de tierra de 2 a 4 cm de espesor.

La técnica propuesta resuelve el problema de la retracción y el equilibrio hídrico mediante la estabilización con cal y materiales puzolánicas de origen volcánico. Estos componentes son abundantes en las regiones centrales de México y generan un relativamente bajo impacto ambiental durante su obtención.

De este modo, se ha desarrollado el sistema constructivo al que se denomina Tierra Vertida Compactada (TVC) que surge de la lógica constructiva de la tierra apilada de origen prehispánico y de la tapia, con la finalidad de realizar componentes constructivos sostenibles desde el punto de vista ecológico y económico, y que a la vez resulten fáciles de realizar.

En este sistema se procura hacer más eficiente la edificación empleando herramientas ligeras que simplemente ejerzan la fuerza necesaria para incrementar la densidad de la tierra estabilizada, pero sin requerir de cimbras excesivamente resistentes y por lo tanto pesadas, con el fin de que puedan ser fácilmente empleados en procesos de autoconstrucción asistida, como la que predomina en la producción social de viviendas rurales y de las periferias urbanas de todo México.

Con esta técnica, durante 2014 se realizaron diversos prototipos de secciones de muros aislados, como parte de talleres de transferencia de tecnología en los que participaron estudiantes, profesores, constructores y público en general, con lo que se ha podido optimizar su metodología de operación y verificar su aplicabilidad.



Figura 3. Encofrados ligeros que facilitan el proceso constructivo. Tlaxco, Tlaxcala. Foto: Luis Guerrero.

3. APLICACIÓN CONSTRUCTIVA

Con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, en los que se pudieron obtener dosificaciones apropiadas que permitían alcanzar capacidades de carga de entre 20 y 30 kg/cm², y la posibilidad de evitar la disolución de la tierra incluso estando totalmente inmersas en agua (Soria, Guerrero y Roux, 2013), se procedió a llevar a cabo la construcción de un módulo en una zona experimental que se localiza al norte de la Ciudad de México.

En el sitio elegido, desde hace varios años se han venido desarrollando diferentes análisis comparativos sobre estrategias bioclimáticas (García y Fernández, 2013) utilizando locales construidos ex profeso con condiciones equivalentes de materialidad, dimensiones y asoleamiento. Estos módulos experimentales tienen una geometría cúbica de 2.4 m de largo, ancho y alto interiores, y con ventanas idénticas de 1.2 m de lado, localizadas una en cada muro, con orientaciones geográficas Norte, Sur, Este y Oeste.

El sistema constructivo de los cuatro módulos de control previamente construidos es a base de muros y cubiertas de paneles prefabricados de malla metálica y espuma de poliestireno, recubiertos finalmente con morteros de cemento-arena y pintados de blanco con cal.

El procedimiento constructivo empleado para el módulo experimental de TVC se asentó sobre una placa de cimentación de hormigón, con planta cuadrada de 3.6m de lado y 15 cm de espesor, similar a la utilizada en los módulos preexistentes ya evaluados. Sobre ella se edificaron en una semana los cuatro muros de TVC de 13 cm de grosor.

El techo y los pretilos se construyeron de mismo modo que el resto de los módulos con los paneles prefabricados descritos. Finalmente, el local fue revocado y pintado en interior y exterior de manera similar al resto de los módulos.

Entre los resultados obtenidos de ese proceso, además de haber podido documentar todo el proceso constructivo y los diferentes ajustes que fue necesario hacer a los moldes, destaca el hecho de las condiciones higrotérmicas del local de TVC permanecieron en zona de confort con temperaturas máximas 4.92 K menores que las que se presentó en el módulo de control (Guerrero, Soria, García y Fernández, 2015).

Se trata de un importante hallazgo pues significa que a pesar de tratarse de muros relativamente angostos, como los que se emplean en la mayor parte de la vivienda convencional del centro y sur de México, se pueden conseguir mejores condiciones de confort que las que se generan con los paneles antes mencionados, que por tener espuma de poliestireno, se consideran ya de por sí buenos aislantes.



Figura 4. Módulo de TVC con muros de 15cm de espesor, Zacatenco, Ciudad de México.
Foto: Luis Guerrero.

A partir de esta información se decidió realizar una vivienda totalmente en TVC desarrollada en dos niveles de altura, en los terrenos del Proyecto San Isidro, Tlaxco, Tlaxcala, en el centro-oriente de la República Mexicana. El diseño fue realizado y supervisado por la Arq. Alejandra Caballero con la asesoría constructiva de los autores del presente texto.

Para optimizar el trabajo se proyectó una modulación a partir de bloques de 1.10m x 0.6m x 0.35m. Este espesor fue más del doble del que se utilizó en el primer módulo debido por una parte a que la región en la que se edificó es notablemente más extremosa que la Ciudad de México y puede llegar a tener algunos días con heladas matutinas en invierno, o presentar temperaturas de más de 30°C en verano. Además, se previó que el diseño habría de incorporar una bóveda vaída hecha de adobe por lo que se calculó tener un área de desplante lo suficientemente adecuada como para contrarrestar sus cargas y empujes laterales.

El proceso de trabajo se llevó a cabo de manera totalmente manual por sólo una pareja de albañiles apoyados por un peón que se encargaba simplemente de realizar y transportar las mezclas a pie de obra. Esta mezcla para la tierra vertida tuvo una dosificación de un volumen de la tierra local, un volumen de material de origen volcánico llamado localmente “tepojal” que es muy similar a la piedra pómez y que desarrolla reacciones puzolánicas, y finalmente 10% de hidróxido de calcio en polvo. Debido al grosor de los muros se decidió hacer realizar cada capa con un espesor máximo de 4 cm antes de ser compactada.

Gracias a la humedad de aproximadamente 23% de la tierra, la compactación resultaba sencilla y rápida. Se utilizó una especie de mazo de madera de perfil cuadrangular de 10 x10cm de base y 80cm de longitud. Con diez o doce golpes en la tierra localizada en el borde interno del encofrado y otros tantos en las áreas centrales, cada capa quedaba suficientemente compactada como para recibir la siguiente. La ligereza de los mazos y la poca fuerza de golpeo necesario, permitió utilizar tablas de 1.5cm de espesor con lo que los moldes resultaron sumamente manejables.

Se pudo documentar que trabajando de manera continua fue posible llenar el molde en un lapso de 45 minutos en promedio y, gracias a la escasa cantidad de agua de mezclado se podía descimbrar inmediatamente. Esto significa que en una jornada de trabajo de 8 horas se realizaron 8 módulos (5.28 m²) incluyendo el trabajo de preparación y acarreo de las mezclas.



Figura 5. Primera hilada de los bloques de TVC para la casa de Tlaxco, Tlaxcala. Foto: Luis Guerrero.

4. CONCLUSIONES

En los momentos actuales en que los recursos naturales se vuelven cada vez más limitados ante el crecimiento de la población mundial, se hace imperativa la búsqueda de alternativas de edificación que aprovechen racionalmente la energía y las materias primas, y que además generen la menor cantidad posible de desechos al medio ambiente. Para los países en desarrollo esta condición tiende a hacerse crítica porque las comunidades pobres que están acostumbradas a la autoconstrucción de sus viviendas, cada vez con mayor frecuencia pasan por alto los saberes constructivos de origen ancestral que heredaron de sus antepasados y caen en la destructiva dinámica de la dependencia de los materiales constructivos industrializados y de alta tecnificación.

En el caso de México estos procesos han incidido de manera radical en la generación de espacios inseguros e insalubres que se construyen mal con materiales que prometen ser de larga duración pero que, al ser utilizados de forma inadecuada, en pocos años se deterioran.

De este modo se entra en un círculo vicioso de pobreza y dependencia en el que los entornos rurales y periferias urbanas día con día son alterados de manera irreversible por la generación de estructuras ajenas a las condicionantes geográficas locales y que, para colmo, no satisfacen las condiciones mínimas de confort higrotérmico de sus habitantes.

Es por ello que el diseño de mejoras en la construcción tradicional con tierra, la cual es conocida por la mayor parte de las comunidades de origen tradicional del país, puede resultar altamente sostenible desde el punto de vista ecológico, económico y social. Además, permite conformar espacios realmente habitables siguiendo una serie de principios de edificación que han probado su eficacia a lo largo de milenios.



Figura 6. La bóveda de adobe fue diseñada por el Arq. Ramón Aguirre. Tlaxco, Tlaxcala, Foto: Luis Guerrero.

Este es el caso del sistema constructivo de Tierra Vertida compactada (TVC) que se describe en el presente texto en el que, a partir de una serie de adecuaciones a procesos edilicios existentes y mediante la incorporación de materiales locales de muy bajo impacto ambiental como la cal y el triturado de piedras volcánicas extrusivas, fue posible desarrollar componentes constructivos de un elevado potencial de aplicación en viviendas sociales para México.

Entre las ventajas del sistema propuesto destaca la generación de elementos constructivos más ligeros, porosos y, por lo tanto, térmicamente aislantes y permeables al vapor de agua con lo que se favorece un adecuado control de las condiciones higrotérmicas de los espacios interiores. Además, el uso de la cal garantiza una destacable resistencia ante los embates de la lluvia, al tiempo que se propicia que los espacios tengan un secado más rápido cuando este fenómeno se presenta.

Los tiempos de construcción resultan equiparables con que caracterizan a los sistemas convencionales de edificación con la ventaja de que los propios habitantes, pueden llevar a cabo procesos de autoconstrucción sin ninguna complicación técnica y utilizando materia prima surgida de su propio suelo. Adicionalmente, en caso de que los inmuebles se dañen o deterioren las reparaciones pueden ser realizadas sin complicación alguna con lo que se fortalece la independencia y el trabajo solidario.

Las construcciones realmente sostenibles no son las que cumplen con las normas y estándares generados e impuestos por las instituciones vinculadas con la producción industrial, sino las que permiten elevar la calidad de vida de sus habitantes, tejen relaciones sociales y fortalecen las raíces de las comunidades al valorar su historia, tradiciones y entorno natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Fernández, C. (1992). *Mejoramiento y estabilización de suelos*. Limusa, México D.F.
- García, J. R., Fernández, F. (2013). "Application of combined passive cooling and passive heating techniques to achieve thermal comfort in a hot dry climate". *Elsevier 2013 ISES Solar World Congress Energy Procedia*.
- Guerrero, L. (2007). "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva". *Apuntes* 20 (2), 182-201. Bogotá.
- Guerrero, L.; Roux R. y Soria, F. J. (2011). "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México". *Palapa V-1* (10): 45-57. Colima.
- Guerrero, L. y Soria, F. J. (2014). "Estabilización de suelos con cal y puzolanas". *Construcción con Tierra*, 6, 15-24. Buenos Aires.
- Guerrero, L.; Soria F.; García, J. R. y Fernández, F. (2015). "Comportamiento Térmico de un Módulo Experimental Construido con Tierra Vertida Compactada en la Ciudad de México". En *Memorias de EURO-ELECS-2015*. 739-746. Guimarães, Portugal.
- Hoffmann, M.; Minto, F.; Heise, A. (2011). "Tapia". En Neves, C. y Faria, O. (Coord.), *Técnicas de construcción con tierra*, FEB-UNESP/PROTERRA, 46-61. Bauru, SP. Brasil.
- Sepulcre, A. (2005). "Análisis comparativo de determinados aspectos sobre la hidraulicidad en los morteros de cal". En *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*. Fundación Santa María la Real, 71-121. Palencia.
- Soria, F.; Guerrero, L. y Roux, R. (2013). "Alternative earth building techniques and their experimental applications". En *Proceedings-EARTH USA 2013*, Adobe in action, 406-410. Santa Fe, N.M.

NOTA BIOGRÁFICA

Luis Fernando Guerrero Baca. Arquitecto, Maestro en Restauración Arquitectónica, Doctor en Diseño Con especialidad en Conservación del Patrimonio. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA. *Expert Member* de ICOMOS-ISCEAH. Representante ante la UAM de la Cátedra UNESCO de Arquitectura de Tierra.

Francisco Javier Soria López. Arquitecto, Maestro en Restauración Arquitectónica en la ENCRYM-INAH, Doctor en Proyectos Arquitectónicos en la ETSAB. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana. Jefe del departamento de Tecnología y Producción de la UAM-Xochimilco.



Mechanical properties of historical adobe in Perú

Erika VICENTE, Daniel TORREALVA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Abstract

Within the frame of the “Seismic Retrofitting Project” a joint research Project between the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP) and Getty Conservation Institute (GCI), more than 250 primary tests for the characterization of heritage building materials have been performed at PUCP laboratories. Building materials from houses of the Historical Center of Lima and historical churches from the highlands (Cusco) and the Peruvian coast (Ica) have been collected and tested in order to obtain the necessary data to perform the structural evaluation in order to prevent damage by seismic events. Even though the main attention of the project was given to earthen buildings, in all buildings studied, stone and brick masonry were found combined with the adobe masonry either in the foundations or in the walls. This paper presents a summary of the experimental results of compression test on adobe piles; diagonal compression test on adobe wallets; shear-compression test of adobe/adobe, adobe/fired brick and adobe/stone triplets and compression test on adobe units. Besides, tests of soil classification for adobe units and mortars were included. The experimental results show significant differences between the original heritage materials compared with those specified in the bibliography and in codes for new construction.

1 INTRODUCTION

The objective of the Seismic Retrofitting Project is to study the seismic behavior and develop retrofitting strategies for earthen historical buildings in Peru. Four representative historical buildings were chosen to be studied analytical and experimentally (Cancino et al., 2009, 2012). The prototypes are built mainly with adobe masonry. Although there are information about mechanical properties of adobe masonry in the Peruvian code for new buildings (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006), information about historical buildings in Peru is almost inexistent. This paper focuses the experimental analysis of the mechanical properties of the adobe masonry from these historical buildings.

2 OBJECTS AND AIMS

The aim of this article is to provide values for mechanical properties of the adobe masonry in Peruvian historical buildings. Original materials were collected from the cities of Lima, Ica and Cusco. The experimental program includes testing of piles, wallets, triplets and units to find compressive strengths hear strength, angle of friction and cohesion. The last two properties, angle of friction and cohesion were found also for the interaction between the brickwork and stonework base course with the adobe wall. Besides this, adobe units were tested and properties of the soil and mortar were determined.

3 MASONRY IN PERUVIAN HISTORICAL BUILDINGS

3.1 Adobe Masonry

Adobe masonry is the most common material in the architectural heritage from the Viceroyalty era and the Republic era in Peru. All the first stories walls of the historical houses from the Historical Centre of Lima were built with adobe. In fact, adobe is the main material for colonial houses and religious buildings in the coastal cities in Peru. Besides, adobe masonry is also the main material in two story and three story houses of the Historical

Centre of Cusco. See Fig.1

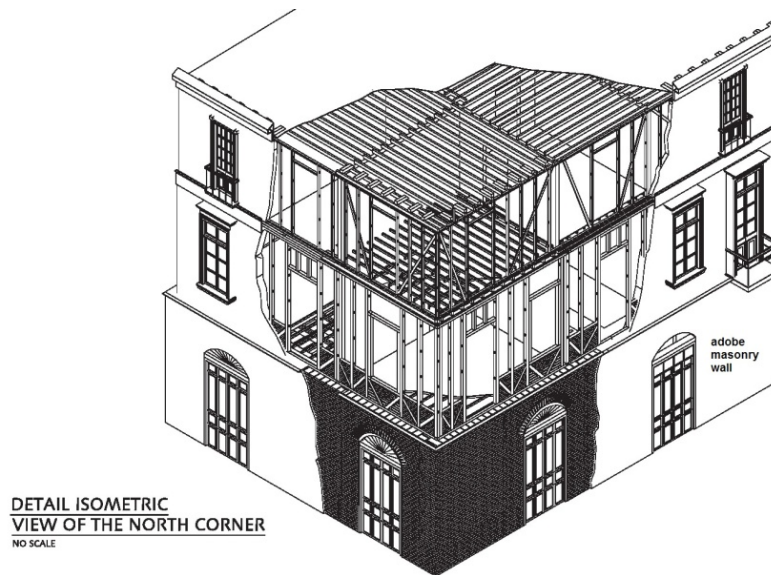


Figure. 1. Structural configuration of historical houses of Lima. Hotel El Comercio. (Cancino et al., 2012).

3.2 Brickwork

Brickwork composed by fired brick and lime mortar was used as a traditional reinforcement of adobe walls. Indeed, brickwork is surrounding the openings in the historical buildings; also was used as basement and base course of the adobe walls.

3.3 Stone masonry

Stone masonry with joints of lime mortar composes mostly the basements and base courses of historical buildings in Peru.

4 MATERIALS AND METHODS

4.1 Materials

With permission of the Minister of Culture of Peru, the materials used for testing were collected from the residuary material of the restoration work of historical buildings in Lima, Ica and Cusco. In the case of Lima, adobe blocks, stones and bricks as well as mortar samples were obtained from three houses from the Historical Centre of Lima: Hotel El Comercio, Casa Jr. Ancash and Casa Welsch. In the case of Ica, adobe blocks and mortar was obtained from Ica Cathedral, an historical church located in South Lima to 300 Km. In the case of Cusco, an adobe block was obtained from Kuño Tambo church, which is located in a rural town in southeast of the Cusco city. In most of the cases, the testing specimens were built using historic adobe blocks; the mortar used was prepared with the original joint mortar and water. In the case of shear compression tests, part of the specimens was built with contemporary adobe blocks and mortar. Each sample were left to dry for 5 weeks before the testing.

4.2 Uniaxial compressive test in piles

The piles were tested in compression and the vertical deformations were measured in order to obtain the elasticity modulus. The latter has been calculated with the slope of the compressive stress - strain curve, taking account values until one third of the maximum stress achieved. The load velocity was 1.5 kN/min. The current Peruvian Adobe Code E.080 was used as reference to the testing. (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006)

4.3 Diagonal compression test in wallets

Horizontal and vertical deformations were also measured to determine the shear modulus (G), which has been calculated with the slope of the stress – strain curve, between 20% and 40% of the maximum stress. The load velocity was 1 kN/min. The current Peruvian Adobe Code E.080 was used as reference to the testing. (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006).

4.4 Shear compression test in piles

The test procedure has two phases, in the first one the vertical load was applied to the assembly and in the second one the horizontal force was applied to the central unit until failure. The testing procedure and levels of vertical stress were applied according to the British Standard BS EN 1052-1 (British Standards Institution, 1999). According to Procedure A of the Standard, the compression loads were 0.1 N/mm², 0.3 N/mm², and 0.5 N/mm² because the strength of the specimens are less than 10N/mm², the ratio of the shear stress was 0.4 N/(mm²/min).

4.5 Compressive strength in units

The testing of compressive strength of the adobe units was carried out in adobe cubes. The arista of the cube was the lower dimension of the adobe unit. The current Peruvian Adobe Code E.080 was used as reference to the testing (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006).

4.6 Soil characteristics of adobe bricks and mortar

The soil of adobe blocks and mortar was tested using the following standards: Granulometric analysis ASTM D 422(American Society for Testing and Materials, 2002);Soil classification, ASTM D2487 (American Society for Testing and Materials, 2011); moisture content (w), ASTM D2216(American Society for Testing and Materials, 2005); liquid limit (LL) and plastic limit (PL), ASTM D4318 (American Society for Testing and Materials, 2000); shrinkage limit (SL), ASTM D427(American Society for Testing and Materials, 2004)and specific gravity of soil solids (SG),ASTM D854 (American Society for Testing and Materials, 2006).

5 RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Uniaxial compressive strength in piles

Eight piles were built using original adobe blocks from historical buildings walls. The soil used to the mortar was obtained from the original walls mortar. Three piles were built with Ica Cathedral materials and five piles with materials from three different historical houses from Historic Centre of Lima. The adobes and mortar from Lima don't have straw, although in the case of Casa Welsch, a sort of organic material, like animal manure, was found. In the case of Ica, the materials doesn't have straw. The results are shown in Table 1.

Table 1. Compressive test of adobe piles.

Location	Name of the building	Compressive strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
Historic Centre of Lima (houses)	Hotel Comercio	0.42	104.23
	Hotel Comercio	0.36	95.49
	Casa Welsch	0.39	93.71
	Casa Welsch	0.58	48.44
	Jr Ancash	0.76	48.89
Ica (church)	Ica cathedral	0.47	74.91
		0.48	60.32
		0.44	106.42

The type of failure in all specimens is the typical vertical crack running through the units and the mortar. The average compressive strength of piles constructed with material from the Historical Center of Lima is 0.44Mpa. The results from historical centre of Lima present a significant standard deviation, 0.17. The piles from Ica Cathedral have an average compressive strength of 0.463Mpa, and the standard deviation is 0.02; in this case, the variability is not significant. In existent adobe houses in Portugal compressive strength of the existent adobe masonry are between 0.66 and 2.15 MPa (Silveira et al., 2012, 2013). The values of experimental analysis for Peruvian new adobe masonry are higher; they are between 0.77 MPa to 3.72MPa (Otazzi et al., 1989; Vargas et al., 1981, 1984). The admissible value of compressive strength in the Adobe Peruvian Code is 0.2 MPa (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006).

The results of Young's modulus are varied. The values are between 48.89 and 106.42 MPa. The literature indicates also variation on their results, 33 -448 MPa (Hernández et al., 1981; Vargas et al., 1981; Otazzi, et al., 1989; Yamin et al., 2004; Varum et al., 2006; Quagliarini et al., 2010; Mahini et al, 2012; Silveira et al., 2012;)

5.2 Diagonal compression strength in wallets

Six wallets were constructed using original adobe blocks; the soil for the mortar was obtained from the original walls. Three wallets were from Ica Cathedral and three from the Center of Lima, they were tested in diagonal compression to obtain the shear resistance of the adobe masonry. The results are shown in Table 2.

Table 2. Diagonal compression testing of adobe wallets.

Location	Name of the building	Shear Strength (Mpa)	Modulus of elasticity in shear (Mpa)
Historic Centre of Lima (houses)	Hotel Comercio	0.014	26.24
	Casa Welsch	0.033	8.01
	Casa Welsch	0.050	2.90
Ica city (church)	Ica cathedral	0.010	49.16
		0.043	6.73
		0.030	12.84

A greater dispersion is observed in the ultimate load capacity in comparison with the axial compression tests of piles with the same material, the values are between 0.010 – 0.05 MPa. In both cases, Lima and Ica samples, the standard deviation are 0.02. Literature shows values between 0.026 - 0.109 MPa (Vargas et al., 1981, 1983, 1986; Torres and Alva, 1983; Otazzi, et al., Yamin et al., 2004; 1989; Varum et al, 2006). The ultimate shear strength in the Peruvian Code is 0.025 MPa (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006). On the other hand, the dispersion is even bigger when is related to the Shear Modulus (G), they are between 2.90 MPa and 49.16 MPa. Regarding literature, the values are between 30.2 MPa – 39.8 MPa (Vargas et al., 1986; Yamin et al., 2004; Varum et al, 2006). The dispersion can be understood because of the crack pattern; in the wallets, the crack is not uniform in all the specimens, the ideal crack pattern would be a vertical one from the upper to the lower corner but other patterns run by the joints with a lower load capacity.

5.3 Shear compression strength in triplets adobe-adobe

Fifteen specimens were constructed assembling three units of adobe (triplets) to be tested in shear/compression to obtain the angle of friction and the cohesion for the masonry. Twelve triplets were constructed with new material adobe and mortar and three triplets were constructed using original units and historical material from Ica Cathedral. There is not much difference between the new material and the historical one. The cohesion and the friction angle for the new masonry have values of 37.71Kpa and 0.60rad respectively. The specimens with historical material from Ica Cathedral have a cohesion value of 44.46 Kpa and a friction angle of 0.50rad. The results are shown in Figure 2. The values of angle of friction of adobe masonry are scarce in the literature. There are some values, but the testing is not detailed or the samples and testing are pieces of adobe blocks (Kiyono and Kalantari, 2004; Liberatore et al., 2006) references values are 0.35 rad, 0.56rad and 1rad; and cohesion values, 37 KPa - 65 KPa (Liberatore et al., 2006).

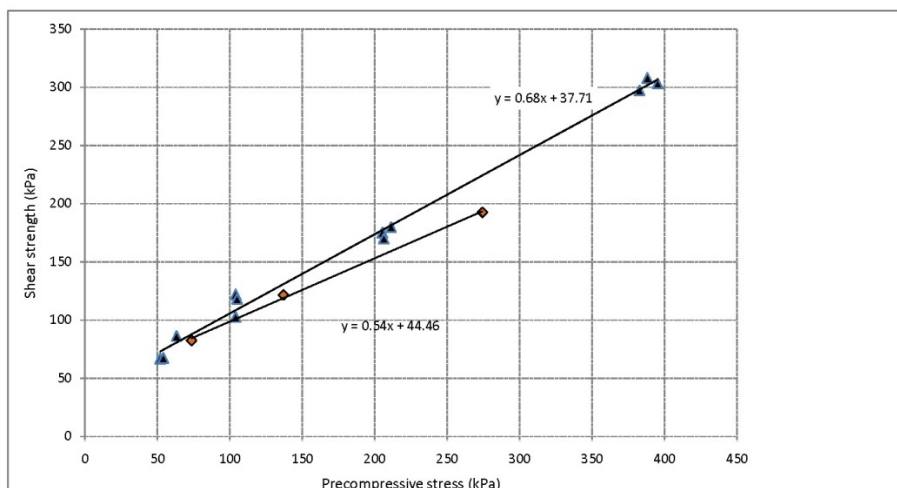


Figure 2. Shear vs Compression curve for adobe-adobe triplets.

5.4 Shear compression strength in triplets adobe-fired brick

Twelve triplets were constructed with two adobe blocks and one intermediate fired brick block, the mortar used for the joint was mud. The units, fired bricks and adobes blocks are original material from Hotel El Comercio and new soil was used for the mud mortar joint. Cohesion and friction angle for adobe-fired brick has values of 33.36Kpa and 0.59rad respectively.

5.5 Shear compression strength in triplets adobe-stone

Eleven specimens were built with two stone blocks and one intermediate adobe block, the mortar used for the joint was mud. The stone blocks are original material from Hotel El-Comercio and the adobe blocks and mud mortar are contemporary. Cohesion and friction angle for adobe-stone masonry has values of 36.45Kpa and 0.61 rad respectively.

The comparison between the values of shear compression testing of adobe/adobe, adobe/fired brick and adobe/stones are shown in the Figure 3.

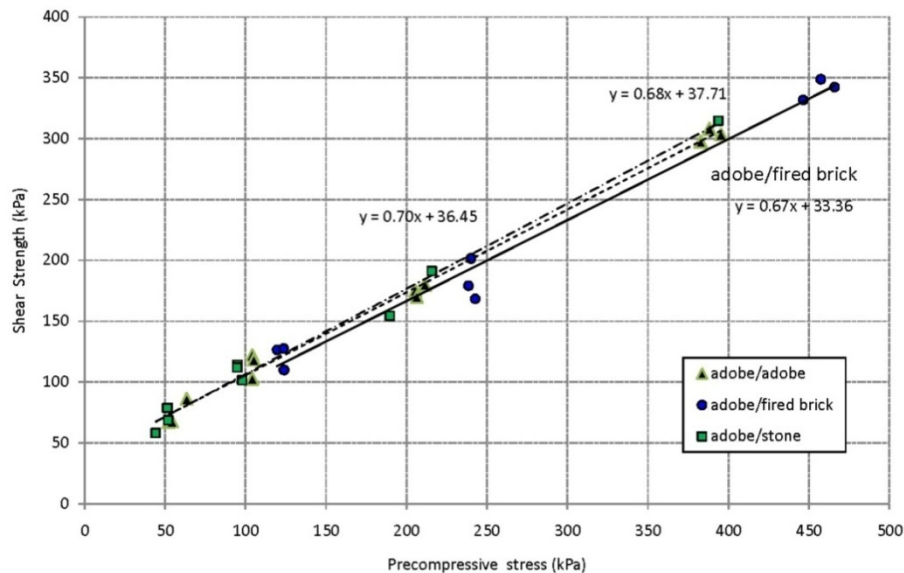


Figure3. Comparison of curves for triplets.

The values about cohesion and internal friction angle are quite similar between the triples of the adobe/adobe, adobe/fired brick and adobe/stone. Due to the fact that the failures, in all the cases, were produced in the mud mortar joint between the blocks, the shear strength is governed by the resistance of the mortar and the cohesion and internal friction are almost constant.

5.6 Compressive strength in adobe bricks

Adobe blocks from El Hotel Comercio, Casa Welsh, Ica Cathedral and Kuño Tambo church were collected and carved in cubes of 10cm by side approximately to be tested in compression. Table 3 represents the summary of the results.

Table 3. Results from compression test of adobe units.

	Hotel Comercio	Casa Welsch	Catedral de Ica	Kuño Tambo
Compression Strength (Mpa)	1.65	1.45	0.65	0.84
	1.53	1.27	0.59	0.65
	1.59	1.43	0.65	0.48
	1.84	1.28	0.62	0.87
	1.74	1.33	0.43	

Compressive strength of adobes from Ica Cathedral presents the lowest values from all. The adobes from the historical center of Lima have the highest values being similar the adobes from Casa Welsch and Hotel El Comercio. The Adobe Peruvian Code (Ministerio de Vivienda del Perú, 2006) considers 1.2 Mpa as the minimum value for new adobe blocks.

5.7 Soil characteristics of adobe bricks and mortar

Soil classification by granulometric analysis was performed for 5 different adobe bricks and 5 different mortars coming from historical constructions. Figures 4 and 5 show the granulometric curves of adobe block and soil mortars used on this work.

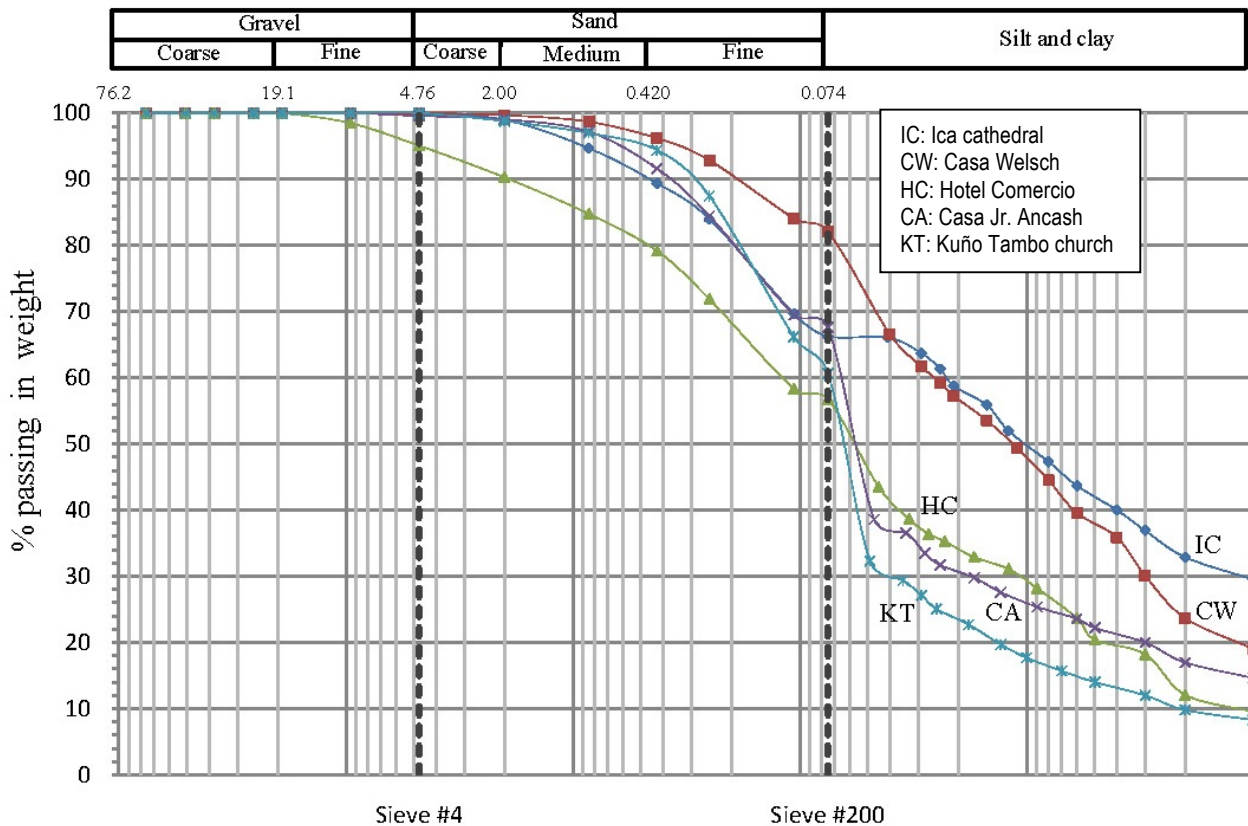


Figure 4. Granulometric curve for historical adobe bricks.

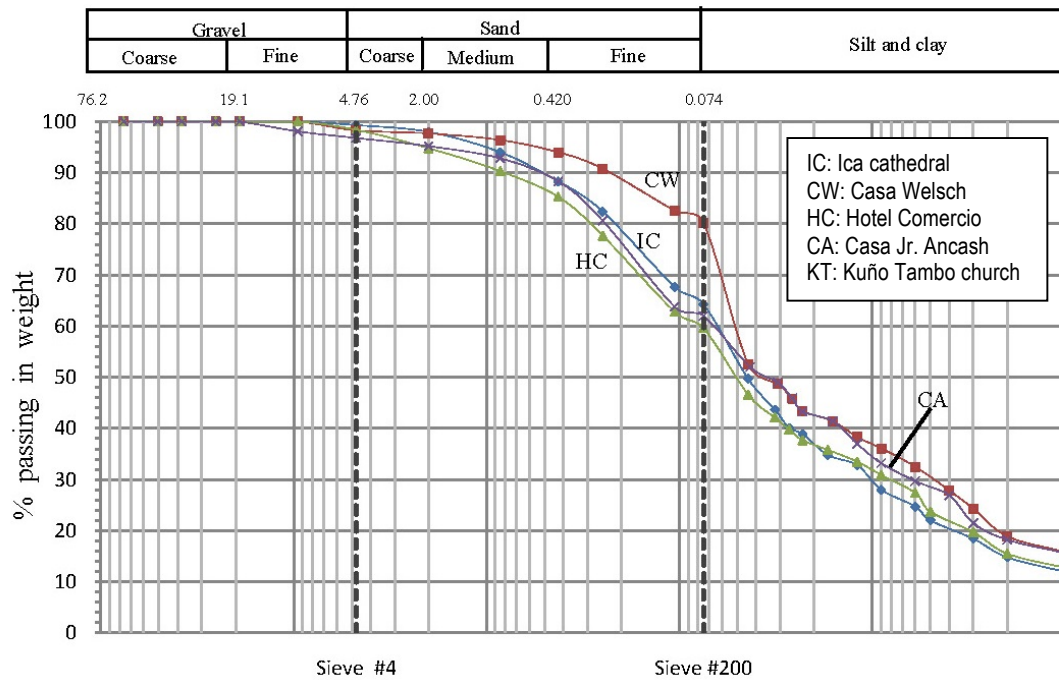


Figure 5. Granulometric curve for historical mortars.

The tables 4 and 5 show the characteristics of SUCS classification, Atterberg limits and specific gravity were found of the adobe bricks and mortars.

Table 4. SUCS classification, Atterberg limits and specific gravity of soil from historical adobe bricks.

Origin	Building	SUCS	w	LL	PL	PI	SL	SG
Lima	Hotel El Comercio	CL	0.06	0.32	0.20	0.12	0.15	2.65
	Casa Jr. Ancash	CL	0.04	0.27	0.16	0.11	0.13	2.64
	Casa Welsch	CL	0.10	0.30	0.17	0.13	-	2.66
Ica	Ica Cathedral	CL-ML	0.04	0.26	0.19	0.07	0.15	2.66
Cuzco	Kuño Tambo	CL	0.04	0.30	0.19	0.11	0.14	2.58

Abbreviations: w, % moisture content of the sample; LL, liquid limit; PL, plastic limit; PI, plasticity index; SL, shrinkage limit; SG, specific gravity.

Table 5. SUCS classification, Atterberg limits and specific gravity of soil from historical mortar.

Origin	Building	SUCS	w	LL	PL	PI	SL	SG
Lima	Hotel El Comercio	CL	0.06	0.30	0.19	0.11	0.14	2.66
	Casa Jr. Ancash	CL	0.05	0.30	0.18	0.12	0.15	2.65
	Casa Welsch	CL	0.12	0.32	0.18	0.14	0.12	2.64
Ica	Ica Cathedral	CL	0.04	0.27	0.18	0.09	0.15	2.67

Abbreviations: w, % moisture content of the sample; LL, liquid limit; PL, plastic limit; PI, plasticity index; SL, shrinkage limit; SG, specific gravity.

Laboratory tests show that soil composition for adobe units and mortar is the same which may implies that it was a usual practice to use the same material source for both functions. Coarse and fine material content is similar in all cases: between 30 and 40% coarse mate-

rial and between 60 to 70% for fine material content. In the Casa Welsch, the fine content is greater than the rest of the sites (80%). In general the soil composition of units and mortars present low plasticity clays with a greater presence of silt is in the soils from Ica Cathedral. The LL are between 27% - 32%, the PL between 17%- 20%, and the SL are between 12% - 15%. The specific gravities are between 2.64 - 2.67.

It was evident that there are a correlation between the LL - LP and the compression strength of the units. Higher values of LL are related with higher compression resistance. However, it is known that there is a limit, for very high value of LL and LP, the resistance decrease. Also, the high content of sand is related with a better resistance of adobe units, but also is known that there is a limit (Dhandhukia et al., 2013).

6 CONCLUSIONS

According to the experimental results, the adobe masonry mechanical properties in historical buildings in Peru vary regarding the locations and buildings. Compared with the literature related to new adobe constructions, the mechanical properties from historical buildings are lower.

Reliable data for adobe masonry compressive strength can be achieved, but in the case of shear strength, the results show dispersion. In the cases of Young Modulus and Modulus of elasticity in shear, the values were also dispersed; this is due to the brittle nature of the material, in which a short deformation produces instantaneous collapse.

Numerous shear compression tests presented reliable information about the angle of friction and cohesion in adobe masonry. The results show clearly that resistance is governed by the joint material which was composed by soil mortar in all the cases. The type of the blocks used was irrelevant, because the results don't depend on them.

The compressive strength of adobe units are different comparing Lima blocks with Ica and Cusco blocks. The Lima adobe blocks achieve similar values to the recommended values for new construction in the Peruvian Code. In the case of Ica and Cusco the values were much lower.

The soil properties of the adobe blocks and mortar were also presented and some trends can be observed, such as the relation between soil properties and resistance. Further studies are needed to better understand this important issue.

In overall, the present work contributes to the knowledge of mechanical properties of adobe masonry from Peruvian historical buildings. This knowledge is primordial to support the numerical models and future studies.

BIBLIOGRAPHY

- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2000. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM D4318 -00. West Conshohocken. PA. USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2002. *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM D422-02. West Conshohocken. PA. USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2005. *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. ASTM D2216-05. West Conshohocken. PA. USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2006. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. ASTM D854 – 06. West Conshohocken. PA. USA.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2008. *Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method (Withdrawn 2008)*. ASTM D427. West Conshohocken. PA. USA.

- American Society for Testing and Materials – ASTM. 2011. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM D2487-11. West Conshohocken. PA. USA.
- British Standards Institution. 1999. BS EN 1052-1 – *Methods of test for masonry, Part 3: Determination of initial shear strength*. London: British Standards Institution.
- Cancino, C.; Farneth, S.; Garnier, P.; Vargas, J.; Webster, F. 2009. *Damage Assessment of historic earthen buildings after the August 15, 2007 Pisco Earthquake, Peru*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. 2009.
- Cancino, C.; Lardinois, S.; D’Ayala, D.; Fonseca, C.; Torrealva, D.; Vicente, E.; Villacorta, L. *Seismic retrofitting project: assessment of prototype buildings, Vol.1&2*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles. 2012.
- Dhandhukia, P.; Goswami, D.; Thakor, P.; Thakker J.N. (2013). Soil property apotheosis to corral the finest compressive strength of unbaked adobe bricks. *Construction and Building Materials* 48, 948–953.
- Hernández, O. (1981). Evaluación experimental de procedimientos para reforzar vivienda de adobe y hacerla resistente ante la acción sísmica. *Instituto de Investigaciones Eléctricas*, México.
- Kiyono, J.; Kalantari, A. Collapse mechanism of adobe and masonry structures during the 2003 Iran Bam Earthquake. (2004). *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 79,157-161.
- Liberatore, D.; Spera, G.; Mucciarelli, M.; Gallipoli, M.R.; Santarsiero, D.; Tancredi, C.; Masini, N.; Racina, V.; Capriuoli, A.; Cividini, A.; Tedeschi, C. (2006). Typological and experimental investigation on the adobe buildings of Aliano (Basilicata, Italy), Lourenco, P.B.; Roca, P.; Modena, C.; Agrawal, S. (Eds.), *Structural analysis of historical constructions*, New Delhi.
- Mahini, S.S.; Eslami, A.; Ronagh, H.R. (2012) .Lateral performance and load carrying capacity of an unreinforced, CFRP-retrofitted historical masonry vault – A case study. *Construction and Building Materials*, 28, 146-156.
- Ministerio de Vivienda del Perú. (2006). E.080, *Peruvian Adobe Code*, RNP. Lima.
- Ottazzi, G.; Yep, J.F.L.; Blondet, M.; Villa-García, M.; Ginocchio, F. (1989) .*Ensayos de simulacion sismica de viviendas de adobe*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería,
- Quagliarini, E.; Lenci, S.; Iorio, M. (2010). Mechanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa. *Journal of Cultural Heritage*, 11, p.130-137.
- Silveira, D.; Varum, H.; Costa, A.; Martins T.; Pereira, H.; Almeida, J. (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials*, 28, 36-44.
- Silveira, D.; Varum, H.; Costa, A. (2013). Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks. *Construction and Building Materials*,40, 719–728.
- Torres, R.; Alva, J. (1983). *Propiedades físico-mecánicas de adobes no estabilizados utilizados en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, Departamento de Estructuras y Construcción.
- Vargas, J.; Ottazzi, G. (1981). *Investigaciones en adobe*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil.
- Vargas, J. Bariola, J. Blondet, M. (1983) .*Informe final del proyecto resistencia sísmica de la mampostería de adobe. Convenio AID-PUCP*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil.
- Vargas, J.; Bariola, J.; Blondet, M.; Mehta, P. (1984). *Seismic strength of adobe masonry*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil.
- Vargas, J. Bariola, N.; Blondet, M. (1986). Seismic strength of adobe masonry, *Materials and structures, Bordas-Gauthier-Villars*.
- Varum, H.; Costa, A.; Pereira, H.; Almeida, J. (2006). *Comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe*. Division of Civil Engineering, University of Aveiro, Aveiro, Portugal,
- Yamin, L.; Phillips, C.; Reyes, J.; Ruiz, D. (2004). Seismic behavior and rehabilitation alternatives for adobe and rammed earth buildings. In: *13th World Conference on Earthquake Engineering. Proceedings*. Vancouver, B. C., Canad.

BIOGRAPHY

Erika Vicente is a civil engineer graduated at Pontifical University of Peru (PUCP) with experience in structural intervention in historical buildings. She currently works as an assistant professor at (PUCP) and participates at the SRP (Seismic Retrofitting Project), a research program between PUCP and The Getty Conservation Institute (GCI). The project is focused on the structural behavior of earth historic buildings in Peru.



**Terre coulée armée : du béton de ciment au béton de terre
L'avancée des études et mises en œuvre du système terre coulée pour un
béton architectural**

Martin POINTET, Bernard SCHMITT, Cécile PLUMIER, Jean-Marie LE TIEC

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé

L'objet de cet article est de présenter le matériau terre coulée pour une utilisation innovante en voiles banchés, porteurs en refends et en façades.

A partir des formulations mises au point successivement par le BETerre, dans le cadre de ses recherches en matériaux et en relation avec le Be VESSIERE pour l'application en phase chantier, il est proposé en exemple la mise en œuvre de ce matériau pour des projets publics (& privés) selon un process « reproductible » justifiable par le calcul et validé par les contrôleurs techniques en respectant à la fois la formulation, avec armatures spécifiques indispensables pour la stabilité en zone sismique.

Cet article a pour but à la fois de présenter le matériau terre coulée, mais aussi la mise en œuvre et les étapes de validation / justification.

Après une description du contexte historique et actuel sur le parallèle béton de ciment/béton d'argile, l'article présentera les dernières réalisations porté par les Be VESSIERE et BETerre. Puis, au-delà de l'intérêt technique, on s'interrogera sur les potentialités de développements industriels de la filière terre dans les pays industrialisé à travers la terre coulée armé.

Introduction

Au début du 20^{ème} siècle, la région grenobloise a connu l'essor des premiers ciments et béton armé. Ces techniques et matériaux, utilisent au début, les outils et systèmes constructifs empruntés à la technique du pisé : un premier transfert de technologie local s'opère. L'industrie des bétons de ciment a développé depuis toute une ingénierie (formulation, résistance, armature, mise en œuvre...) qui inspire à leur tour le renouveau des techniques à base de terre crue initié, dans les années 80 par le centre de recherche Craterre situé sur le même territoire.

La terre coulée, utilisant certaines formulations, base granulaire des matériaux à pisé, renchéri de fines ou graves et d'eau, le matériau simple dans sa composition peut être traité en mise en œuvre tel un béton de ciment « classique », c'est-à-dire coulé entre des banches étanches, sans compactage mais avec une aiguille vibrante.

L'intérêt de cette méthode, au-delà d'utiliser des terres du site, ou de baisser les couts de production en facilitant les mises en œuvre, est de pouvoir réaliser des parois renforcées avec différents types d'armatures.

Plusieurs chantiers, réalisés où en cours ont utilisé la technique de la terre coulée armée à l'aide de tirant verticaux. Ce principe d'armature permet la modélisation selon la méthode des tirants bielles pour justifier la résistance des parois dans leur plan et hors plan avec des caractéristiques réelles de compression (terre coulée) et de traction (armatures) afin d'augmenter les résistances mécaniques des murs verticaux, et permettant ainsi la construction de chantiers publics en zones sismique.

1 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU SYSTEME TERRE COULEE PAR RAPPORT AU BETON ARCHITECTONIQUE – ECOCONSTRUCTION ET ENERGIE GRISE

1.1 – Composition

Béton de ciment

Le béton de ciment classique est composé en général de ciment, de sables, d'agrégats, et d'eau, ainsi que de métal si on l'arme. (résistance à la traction)

Identification	Formule type
Ciment	250 kg/m ³
Sables	600 litres soit environ 1080 kg/m ³
Agrégats	725 litres soit environ 1800 kg/m ³
Eau	125 kg/m ³

Fig. 1_Masse volumique du béton a 28 jours : 2 300kg/m³, armé : 2 500kg/m³.

Béton de terre coulée

La composition du béton de terre coulée est donnée à titre indicatif. Sa composition peut varier selon la terre du terrain et donc la formulation que l'on adaptera pour rendre le matériau efficient. Prenons pour exemple la formulation aboutie d'un projet réalisé par Martin POINTET à Seyssins.

Caractéristiques des produits utilisés dans la composition du béton d'argile.



Fig. 2_ parements des voiles de béton de terre coulée _ chantier CTE ouest à Fontaine (38)

Le béton de fine argilo-calcaire stabilisé au ciment est constitué d'une matière liante (AC100+ciment), d'une matière en grains (sables et graviers), et d'eau et dispersant. Dans un premier temps nous donnons les caractéristiques de chaque élément.

Exemple d'une composition :

Les fines argilo-calcaires : AC100 tamisées à 100µm

Le ciment : CEM 1 52,5N CE NF

Des gravillons calcaires 4-12mm (GL0412) Du sable marin 0-4mm (SS1204)

Du sable calcaire 0-4mm (A5)

Le tableau ci-après récapitule les proportions de la formulation finale pour le béton à base de fine argilocalcaire stabilisé au ciment. Formule qui pourra être utilisée pour les essais de résistance mécanique.

Identification Formule kg/m3	Identification Formule kg/m3
CEM I 52,5N CE NF Lumbres	90
AC 0100	225
SS1204	439
A5	439
GL0412	864
Pozzolithe 390N (1,4% m.l.)	4,5
Eau efficace	217
Affaissement au cône d'Abrams, mm	
A T0	169
A T1h	161
Masse volumique du béton frais, kg/m3	2313
Masse volumique du béton durci à 28 jours, kg/m3	2209

Fig. 3_ Tableau extrait du rapport de Marta Medala, Carrière du Boulonnais, 2013.

1.2 - Impacts : avantages & inconvénients

Plusieurs manières de comparer un matériau de construction, sa facilité de mise en œuvre, son coût, sa résistance mécanique... Dans un précédent document, la formulation du béton de terre dont il est question a montré que ce matériau correspondait largement au seuil minimum de résistance mécanique d'un mur porteur, soit plus de 2Mpa. D'un point de vue durable, pour comparer le béton de ciment et celui de terre, on s'attachera au cycle de vie, au coût, à l'emprunte environnementale et sociale du matériau de son extraction à sa fin de vie.

Impact économique

D'un point de vue économique, le béton de ciment est actuellement moins cher à fabriquer et mettre en œuvre car largement commercialisé, par rapport à la construction en terre. La demande en main d'œuvre pour un mur de pisé est exigeante, mais l'intérêt du béton de terre coulée est qu'il ne nécessite pas plus de main d'œuvre que le béton de ciment. De plus, les matériaux étant essentiellement locaux, le coût de revient n'est pas forcément très élevé, car on évite au maximum les transports de matières premières en extrayant sur le site, et le coût de mise en œuvre est d'environ 250-300€/m² pour la terre coulée à comparer à des valeurs de 100-120€/m² pour le béton de ciment classique et 200 - 250€/m² pour le béton de ciment dit « architectonique » selon les additifs et pigments ou textures.

Impact social

La terre tirée du site pour la construction n'est pas un matériau nocif, elle ne subit pas de transformations chimiques... Ce que l'on appelle reformulation n'est que l'ajout de matières premières qui cherchent à optimiser le squelette granulaire de matériau de construction. Moins il y a d'air dans le matériau, plus il est dense, plus il est solide et ses résistances mécaniques sont élevées. On vient combler les trous et les espaces vides en ajoutant par exemple du sable ou des fines argilo-calcaires.

D'un point de vue sanitaire le matériau est donc sain.

Sa capacité structurelle permet aussi d'éviter la complexité de certaines structures couteuses et difficiles de mise en œuvre. Mieux encore, voir un bâtiment « sortir de terre » avec cette même terre, dans le respect des traditions constructives locales est un atout majeur et un symbole permettant de valoriser le bâtiment avec de nouvelles techniques mises à jour.

Enfin, avec le choix d'un matériau de construction demandant de la main-d'œuvre et des produits régionaux d'artisanat, une grande partie des bénéfices est réinjectée dans l'économie locale et ses petites entreprises. On peut réduire au minimum le processus de vieillissement des matériaux naturels en faisant en plus appels aux professionnels locaux du département isérois à jour dans la construction terre grâce à un design étudié, fort de recherches et d'expériences (CRATERRE, Caracol, Vessière, LABEX, Martin Pointet...). De plus la maintenance et la réparation sont des travaux faciles avec des artisans locaux déjà impliqués dans le projet.

Impact et performance environnementale

On parle d'énergie grise pour quantifier l'impact environnemental du cycle de vie d'un produit, on mesure sa dépense énergétique en kWh.

L'intérêt du matériau terre consiste en son site d'extraction local. On peut en effet utiliser la terre d'excavation du sol pour en faire ses propres murs, la matière est « gratuite », et l'on évite le transport. Ni émissions de CO₂ ni énergies fossiles ne sont nécessaire en théorie pour le transport de la matière principale d'un bâtiment en terre, car le principe de construction en terre repose sur le travail humain. Les murs peuvent être recyclés au plus bas niveau d'entropie.

Utilisation en voiles porteurs

La formulation des bétons de terre coulée permet de garantir des résistances à la compression pris dès de départ dans la conception des ouvrages résistants ; à ce titre, selon les descentes de charges et impacts, il est possible de doser différemment les liants hydrauliques – ciment, afin de remonter les capacités. A partir des valeurs de résistance des éprouvettes tests, menées à la rupture pour déterminer les valeurs caractéristiques dites R_{ck} un dimensionnement des ouvrages est possible avec vérification des contraintes locales d'appui et global de fonctionnement du mur fléchi hors plan et en cisaillement grâce à la modélisation en tirant – bielle telle que défini dans les EUROCODES 2 pour le béton de ciment armé traditionnel. Les armatures de tirants sont elles dimensionnées à la traction pure avec un ancrage dans les parties basses en soubassements et parties hautes dans les dalles ou acrotères de liaison.

2 – DOSSIER TECHNIQUE PROPOSÉ POUR MARCHÉ PRIVÉ OU PUBLIC

2.1 – Etudes EXE et PAC pour ouvrages en terre coulée

Sur la base des plans et informations techniques fournis au dossier DCE, concerne la réalisation des études spécifiques pour les ouvrages en terre coulée et comprend :

- Plans EXE / PAC,
- Notes de calcul,
- Recherche de granulats
- Formulation des mélanges terre à couler,
- Essais spécifiques sur les matériaux et éprouvettes,
- Note méthodologique d'intervention et de contrôle qualité.
- Un voile prototype.

Pour la terre crue stabilisée, sous forme de terre coulée, les documents techniques seront constitués par les publications les plus récentes des centres de recherches et d'expérimentation et/ou des bureaux d'études spécialisés, agréés par l'architecte. L'entrepreneur est libre de proposer à cet agrément le ou les centres de son choix. Une liste non exhaustive de quelques centres est donnée ci-dessous, sans valeur contractuelle. Si nécessaire, et surtout si demandé (voire exigé par le bureau de contrôle) l'entrepreneur se rapprochera du CSTB et du contrôleur technique afin de mettre en place à ses frais, une procédure d'ATEX pour le chantier (appréciation technique d'expérimentation).

2.2 – Ouvrages en terre coulée

Le coulage des murs en terre coulée et comprend :

- Tracé,
- Armatures spécifiques type DW avec écrous et plaquettes,
- Rupture de capillarité
- Coffrage,
- Préparation,
- Coulage,
- Rebouchage des trous de banche
- Mise sous cure des ouvrages
- Reprise des arases,
- Protections rigides des arases et parements exposés.

Prévoir le coffrage et coulage d'un voile prototype « sacrificiel »

Spécificité de l'ouvrage :

- La période d'exécution des murs en terre coulée ne devra pas commencer avant mi-mars pour et s'achever avant fin octobre pour éviter les problèmes de gel. Les températures pour l'exécution des ouvrages en terre coulée est au minimum 5 degré. Hors ces périodes il n'est plus possible de réaliser ces ouvrages dans les règles de l'art.
- Le mur en terre coulée reste coffré au minimum deux jours, puis peut être intégralement décoffré.
- Une fois décoffrés, les murs en terre coulée sont mis sous cure à l'aide d'un polyane, durant au moins une semaine afin de favoriser et d'optimiser la prise du liant hydraulique.
- Les ouvrages en terre coulée doivent être protégés contre la pluie sur toute la période du chantier (mise en œuvre, décoffrage, mise sous cure...). Cette protection peut se faire par panneaux rigide posé en tête de mur avec des débords d'au moins 10cm de chaque côté.

Le contrôle qualité peut être réalisé par l'entreprise. Il se fera sur les deux points suivant : Vérification de la bonne consistance du mélange, lors de la vidange du malaxeur, à l'aide d'un cône d'Abrams. Les résultats seront notés dans un carnet de bord et rendu à la maîtrise d'ouvrage en fin de chantier. Réalisation de 9 éprouvettes 16/32cm, à la demande de l'architecte. Ces éprouvettes seront testées dans un laboratoire agréé afin de vérifier leur résistance mécanique à 7 et 28 jours.

2.3 – Armatures spécifiques (type DW avec écrous et plaquettes)



Platine d'ancrage 150x150x6mm
+ tige DW 26.5+ écrou
Fig.4_Exemple d'armatures de voiles



Tige DW 26.5 + écrou manchon coupleur
Fig.5_Exemple d'armatures avec manchons de liaison

2.4 – Note de calcul des voiles en béton de terre coulée

Modélisation aux éléments finis avec prise en compte des descentes de charges statiques & dynamiques issues des sollicitations extérieures

- Définition des zones de contraintes maximales et minimales en traction et compression
- Validation des taux de contraintes avec positionnement des barres de tirants
- Vérification de la stabilité hors plan avec prise en compte du noyau tiers central

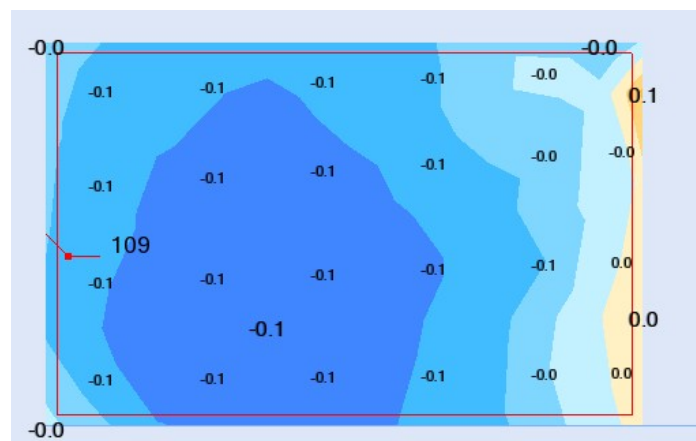


Fig.6_Exemple de cartographie des contraintes normales principales Sigma2 sous action sismique

3 – REFERENCE LOCALE CHANTIER TERRE COULEE

Centre Technique Ouest de FONTAINE – Maîtrise d'Ouvrage publique : LA METRO

A partir des connaissances de la terre, le développement d'un matériau dit « béton de terre » a été mis au point et formulé afin de répondre aux attentes des maitres d'ouvrages & architectes.

Des voiles de refends et de façades ont été pris en compte, dès la phase conception par les architectes et les ingénieurs, pour être réalisés en béton de terre coulée avec parements architectoniques.

A partir des essais de formulations, ont été testés des éprouvettes qui ont à la justification des éléments porteurs modélisés aux éléments finis afin de déterminer les taux de contraintes et les armatures renforts nécessaires. Ce principe, conforme à la modélisation

en « tirants – bielles » selon les EUROCODES, justifié par le calcul en phase EXEcution a été validé par le contrôleur technique.

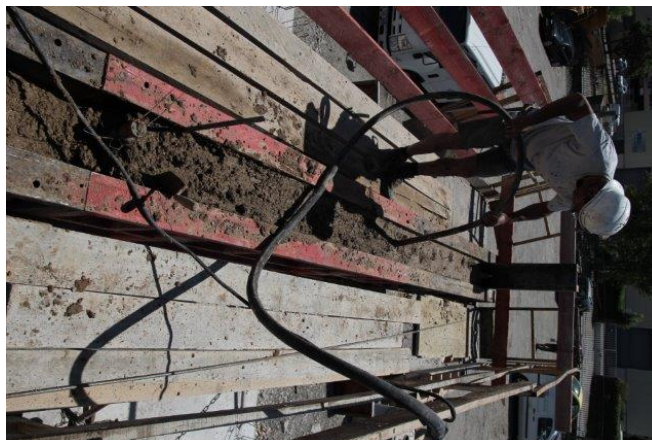


Fig. 7 & Fig. 08_ Coulage des voiles de béton de terre coulée _ chantier CTE ouest à Fontaine (38)



Fig. 09 & 10_ Voile de refend porteur en béton de terre coulée _ chantier CTE ouest à Fontaine (38)

4 – CONCLUSIONS

A partir des terres locales du site ou des volumes rejets de front de carrière, dont les matériaux terre argileuses servent à combler les trémies, une formulation reste possible pour réaliser un béton de terre. La notion de terre « coulée » permet une mise en œuvre selon un process « reproductible » par les entreprises de gros œuvre / maçonnerie. A partir d'une formation et un accompagnement in situ avec les compagnons de chantier, souvent réticents puis les plus motivés, il est possible de réaliser sur la base d'un voile prototype préalable des murs en béton de terre coulée armé entre banches.

Et, tout comme le béton de ciment à son époque, est-elle la base de nouvelles conceptions architecturales contemporaines en terre crue ?



Adobe with 1 % clay and 2.11 MPa resistance: a case study

Marco Antônio PENIDO D REZENDE, Jaqueline Leite RIBEIRO DO VALE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Abstract

Although showing good final resistance and durability, some experiences in earth building construction show a clay/silt/sand proportion that is completely different from that recommended by most authors and construction associations. Understanding these experiences is important to enhancing knowledge in this field. This article presents and discusses some of these experiences. The main objective was to improve comprehension of earth behaviors as building material by studying two atypical cases of adobe production concerning a grain size analysis of the earth used. The earth and adobe produced by two of the three local producers from Bichinho village, Brazil, were analyzed by different tests such as the grain size distribution test and the Atterberg limits for earth and resistance for the adobe. The grain size analysis of the earth used by the first producer presented the following results: clay 1%, silt 65.1%, and sand 33.9%, with similar results for the second producer. Adobe resistance was tested using the Protterra method, which showed an average of strength compression of 1.99 MPa for the first producer, and 2.11 MPa for the second producer. These results show the importance of the clay mineral structure and the complexity of the soil behavior, indicating the need for additional studies.

Introduction

The present study began as a study of the characteristics of the local adobe producers in a small village in southeastern Brazil called "Bichinho". The research was undertaken because this type of production is very rare in this part of the country. However, some of the results were so surprising that another research study was deemed advisable. The grain size distribution test showed a predominance of silt and only around 1% clay for the two soils used to make the adobe bricks. These results are completely outside of the grain size distribution recommended by adobe building manuals. However, the compressive strength test revealed good resistance (2 MPa average). One of the primary objectives behind this study was to explain how this was possible.

Another point to be investigated was whether this type of soil would have been chosen had the customary recommendations had been applied.

The importance of the origin of the clay mineral and complexity of the soil behavior is well known. Nevertheless, what is new, and confirmed by the bibliography and an exchange of information with colleagues, is that these types of cases are not as difficult to find as once imagined. Furthermore, even if it was a very rare case, the importance of the research for the local vernacular producers and the necessity of not making a wrong judgment about the soil would justify this work. Therefore, this study aimed to present one more case outside of the regular particle distribution size and the need for further studies to best predict soil behavior as a building material and better understand its behavior. After presenting a brief literature review and the method, the results will be shown and discussed.

Literature review

The differences due to the origin of the clays mineral and the difficulty in knowing its behavior is very well discussed in the Clay Mineralogy works (Grim, 1962; Grim 1968; Grimshaw, 1971; Murray, 2007) and presented in Geotechnical Engineering (Adeyeri, 2014; Vargas 1978). This is summarized in various publications on earth construction (Houben and Guilaud, 2008; Minke, 2000), which show the clays' chemical composition and the primary tests to try to identify soil characteristics with emphasis on the grain distribution size and Atterberg limits. Such emphasis is in total agreement with current engineering practices. In fact, they are much used due to the facility with which they are made (diffu-

sion and costs) and their relative success in predicting soil behavior as building material when applied together. However, Corrêa (2006) and Costa (2013) demonstrate that, in some cases they are not enough to understand or predict soil behavior. Costa et al (2013) shows samples where the mineral composition, not the particle size distribution, are decisive to understand the soil compartment. Ciancio et al (2013) argue that the excessive focus on the grain size distribution test and the importance of other tests can show the characteristics related with the soil's mineral structure. This study presents and discusses an example in which the clay mineral origin and complex soil behavior are the main point.

Method

The adobes strength was tested using a methodology developed by the Proterra network for compress strength test (Neves, Faria, 2008; Faria et al, 2008). Ten adobe blocks of each producer were selected to perform the test (10 % of the daily production from different times of the day). Each adobe was cut dimension from a larger size, assisted by a mould made especially for this purpose. (Figure 1). The two parts were connected with a murder of Portland cement and fine sand (1:3). The top and bottom surfaces received a layer of mortar to make a level surface.

The adobes were treated in a kiln for 24 hours (100 °C) before undergoing the strength test. The load used was 10 MPa/min at a constant speed (Figure 1).

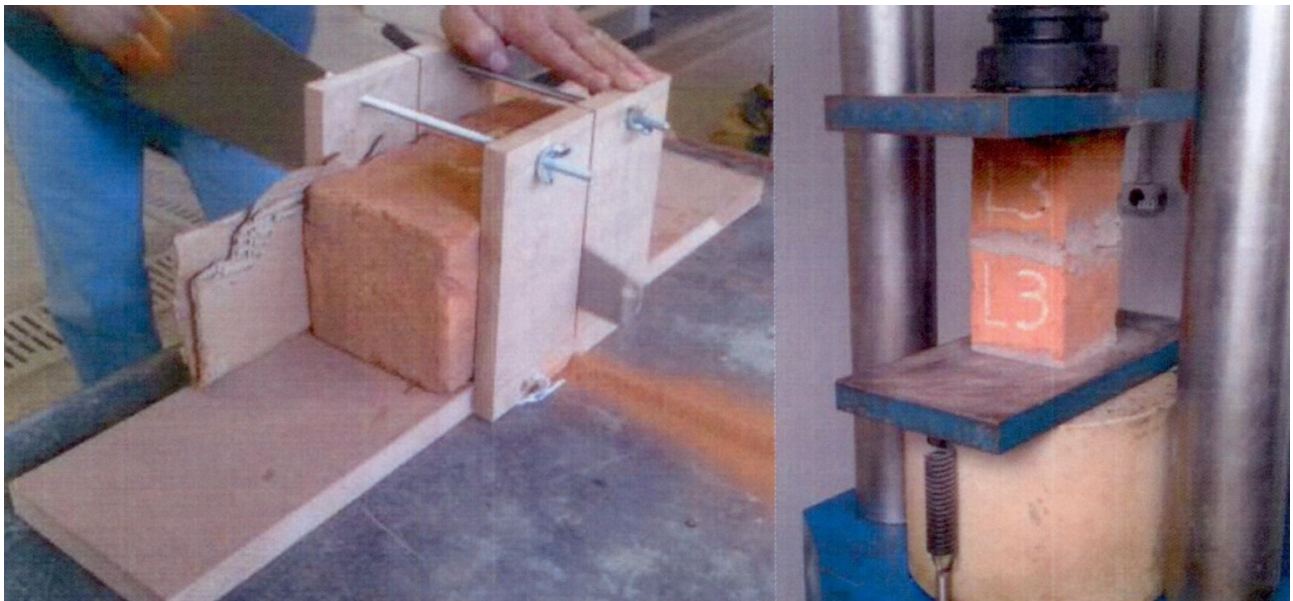


FIGURE 1: method for cutting the adobe and press machine with adobe prepared for the test.

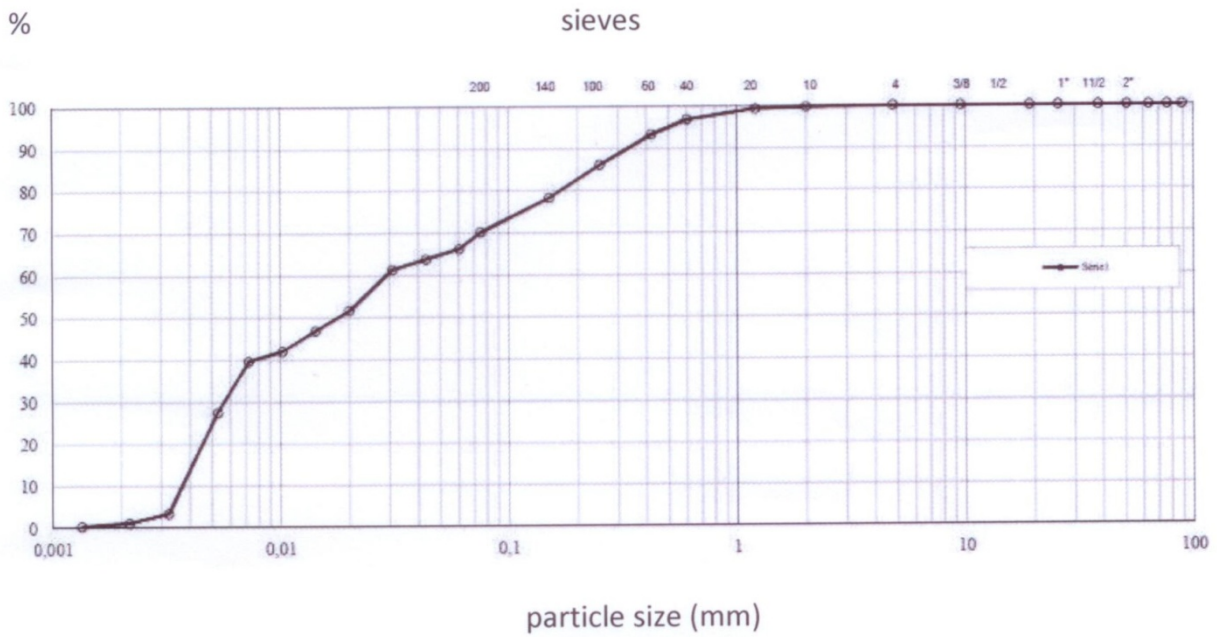
For the Plasticity Index the Brazilian standard for Atterberg Limits - Liquid Limit (NBR 6459/ 1984) and Plastic Limit (NBR 7180/1984) were used. These standards are very similar to ASTM Standards for the same tests.

To find the grain size distribution of the used soils, a combined sieving and sedimentation test was conducted according to Brazilian standards (NBR 7181/1984), which is similar to ASTM D2487 for this propose.

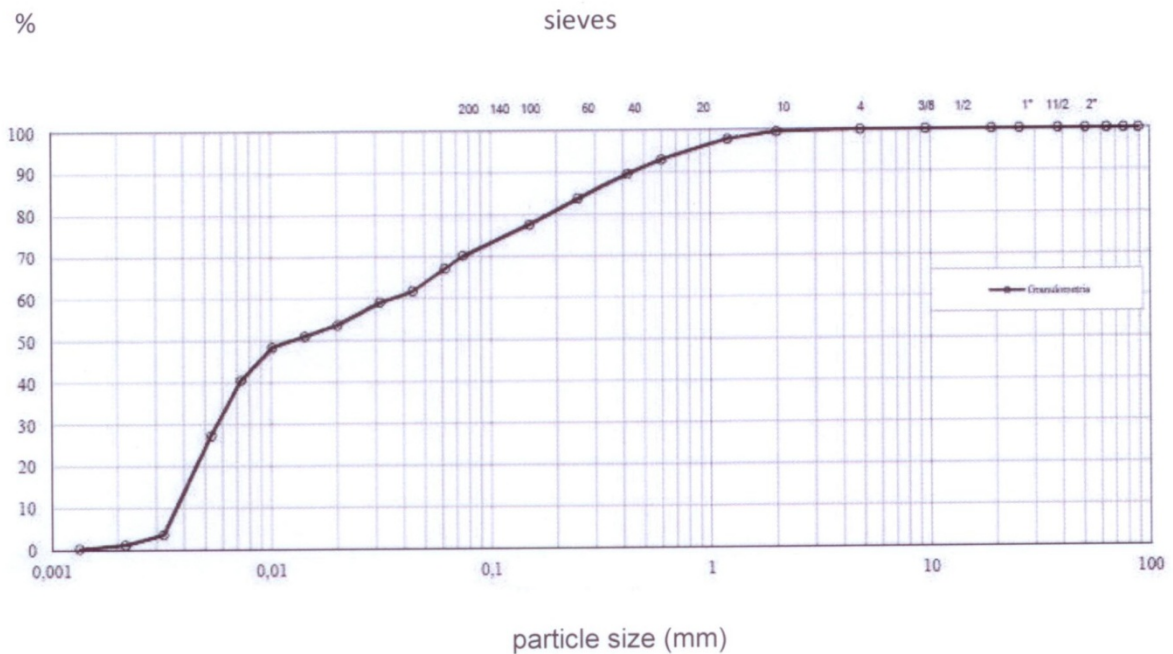
Results and discussion

For this study, one of the producers was designated Producer One and the other one, Producer Two. Producer One's adobe and soil were designated adobe brick and soil 1. Producer Two's adobe and soil were designated adobe and soil 2. Graphic 1 shows the particle size distribution of the soil used by Producer One. It has 1% clay 65.1 % silt, 23.6

sand, and 0.3 % gravel. Graphic 2 shows the particle size distribution of the soil used by Producer Two. It has 1% clay, 65.5 % silt, 33 % sand, and 0.5 % gravel.



GRAPHIC 1: Particle size distribution curve producer 1



GRAPHIC 2: Particle size distribution curve producer 2

The Atterberg limits of the soil 1 are: Liquid Limit: 52.9, Plastic Limit: 37.0, and Plasticity Index: 16.0. For soil 2, the results are: Liquid Limit: 60.7, Plastic Limit: 31.4, and Plasticity index: 29.3.

The compression strength test showed a median crushing load of 3605 kgf and a median compressive strength of 1.99 MPa for the first producer, and a median crushing load of 3728 kgf and a median compressive strength of 2.11 MPa for the second producer (Table 1).

Specimens Producer 1	Crushing Load (N)	Compressive Strenght (MPa)	Specimens Producer 2	Crushing Load (N)	Compressive Strenght (MPa)
CP 1	42865	2,41	CP 1	38089	2,20
CP 2	19702	1,10	CP 2	42022	2,43
CP 3	47278	2,66	CP 3	33186	1,92
CP 4	30803	1,73	CP 4	36177	2,09
CP 5	32715	1,84	CP 5	37608	2,17
CP 6	37373	2,10	CP 6	35343	2,04
CP 7	39838	2,23	CP 7	38324	2,22
CP 8	37490	2,11	CP 8	41551	2,40
CP 9	32950	1,85	CP 9	36530	2,11
CP 10	32715	1,84	CP 10	26743	1,54
Total Number	10	10	Total Number	10	10
Average	35373	1,99	Average	36557	2,11
S. Deviation	7547,9	0,4245	S. Deviation	4354,8	0,2481
Rel. Standard Deviation (%)	21,31	21,33	Rel. Standard Deviation (%)	11,91	11,76
Minimum	19702	1,11	Minimum	26743	1,54
Maximum	47278	2,66	Maximum	42022	2,43

TABLE 1: Compress strength test results for adobes from the two producers.

The particle size distribution of each soil type shows very little clay and a large amount of silt for adobe production. This particle size distribution is not generally recommended without some type of correction. The Plasticity Index is a good result for soil 2 (29.3), but not for soil 1 (16.0). However, the results are more acceptable for the purpose. Furthermore, this last test shows good reactivity of clay in the two soils. The compression strength test shows a median of 1.99 MPa for Producer 1 one and a median of 2.11 MPa for Producer 2two. These results are good and unexpected from the particle size distribution of each soil type. Even taking in account the Plasticity Index (PI) 16.0 for the first soil and 29.3 for the second soil, these results are a good example of the complexity of soil behavior.

Part of the good results of the strength test could be predicted by the results of Atterberg limits test, especially for soil 2. This is an important argument for never applying only the particle size distribution test to make a decision on soil quality for use in construction. Although the Atterberg test is mentioned in most manuals and courses for beginners, maybe the need to apply it is not given proper emphasis.

Conversely, part of the good results had not been previously diagnosed. The bibliography (Adeveri, 2014; Vargas 1978) contains studies that indicate these results are connected with clay mineral origin, its chemical behavior and even with the behavior of the silt . Nevertheless, the need to more accurately how all this particles work reveals the need for more studies.

Final discussion, conclusion, and prospects

The main purpose of this study was to present another case in which soil with completely atypical grain size distribution could be used without correction. Similar results can be find in other studies (Ciancio et al, 2013; Costa et al., 2013, Corrêa, 2006) conducted in other

countries. As a result, it is not an isolated case. These cases support the need for additional studies concerning soil behavior and its characteristics related with its mineral structure.

Moreover, two conclusions became evident. First, students must be made aware of the complexity of soil behavior and the need to not consider the particle size distribution test as the only source for soil characteristics. Furthermore, even tests like the Atterberg limits should not be used as the final diagnosis in terms of soil possibilities and behavior. Second, new studies need to be undertaken to better predict soil behavior, such as methylene blue to test the clay reactivity.

Bibliographical references

- Adeyeri, J. (2014). *Technology and Practice in Geotechnical Engineering*. IGI Global, Hershey.
- Ciancio, Daniela; Jaquin, Paul ; Walker, Peter. (2013) *Advances on the assessment of soil suitability for rammed earth. Construction & building materials*. Vol.42 p.40 -47
- Costa, CS ; Rocha, F ; Varum, H ; Velosa, A. (2013). Influence of the mineralogical composition on the properties of adobe blocks from Aveiro, Portugal. *Clay Minerals*, Dec, Vol.48(5), p.749-758.
- Corrêa, A. A. R.; Teixeira, V. H.; Lopes, S. P.; Oliveira, M. S. (2006). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua) Evaluation of physical and mechanical properties of adobe bricks. *Ciência e Agrotecnologia*, Vol 30, I. 3, p 503-515.
- Faria, O.B.;Oliveira, B.M.; Tahira, M.; (2008). Realização dos ensaios interlaboratoriais Proteja em Bauru-SP(Brasil). *Anais do VII Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra. II Congresso Brasileiro de Arquitetura e Construção com Terra*. UEMA, Proterra: São Luis.
- Grimshaw, R. W. (1971). *The Chemistry and Physics of Clays*. Willey-Interscience, New York.
- Grim, R. E. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New York
- Grim, R. E. (1968). *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New York
- Houben, H.; Guillaud, H. (2008). *Earth Construction. A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications Ltd., Rugby.
- Minke, G. (2006). *Earth Construction Handbook*. WIT Press, Ashurst.
- Murray, H. H. (2007). *Applied Clay Mineralogy*. Elsevier, Amsterdam.
- Neves, Celia; Faria, Obede. (2008). Ensaio Interlaboratorial Proterra. Ensaio Adobe. *Anais do VII Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra. II Congresso Brasileiro de Arquitetura e Construção com Terra*. São Luis, Universidade Estadual do Maranhão/Rede Proterra, 2008.
- Rezende, M.A.P.; Lopes, W.G.R; Ricardo, M.C.; Vale, J. (2013). Técnicas construtivas vernaculares no Brasil. In: Vinuales, G. (ed). *Arquitectura Vernácula Iberoamericana*. Rede AVI, Sevilla.
- Rezende, M.A.P.; Leite, J.L.R.; Cardoso, F.M.P. (2014) Vernacular technology in Brazil: transformation and preservation. In: Correia, M.; Carlos, G.; Rocha, S. *Vernacular Heritage and Earthen Architecture. Contributions for sustainable development*. CRC-Taylor &Francis Group, Leiden.
- Vale, J.L.R. (2002). *Técnicas vernaculares, preservação e sustentabilidade:um estudo de caso da técnica de adobe no distrito de Vitoriano Veloso (Bichinho), Prados, Minas*. (Dissertação de Mestrado). UFMG, Belo Horizonte.
- Vargas, M. (1978). *Introdução à Mecânica dos Solos*. McGraw-Hill do Brasil / Editora da Universidade de São, São Paulo

Biography

Marco Antônio Penido de Rezende

Mr. Rezende is a Graduate Architect from Federal University of Minas Gerais, Brazil. Master (post-graduation) in Architecture; PhD in Construction Technology from University of São Paulo; Postdoctoral studies at Historic Preservation Program, University of Oregon. He is currently an Associate Professor at the School of Architecture of the Federal University of Minas Gerais, Brazil.

Jaqueline Leite Ribeiro do Vale

Graduate Architect, Master (Pos-Graduation) in Constructed Environment and Sustainable Heritage Preservation, Professor at Newton Paiva University.



Cement with SCBA as a stabilizer in compressed earth blocks

Paula Gisele LAMEZON DE PÁDUA, Daniel MASKELL, Andrew HEATH, Pete WALKER

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

ABSTRACT

The study outlined in this paper investigates the addition of Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA) with cement to improve the mechanical and durability properties of compressed earth blocks. Initially, the chemical composition of the SCBA material was characterized by x-ray diffraction, particle size and morphology. Prototype compressed earth blocks were made using a variety of brick soils mixed with sand, cement and SCBA. These blocks were subjected to a variety of different tests to ascertain their mechanical and durability properties. The test results, outlined in the paper, indicate SCBA can be used together with cement as an effective stabilizer in compressed earth blocks. The blocks made with soil, 5% of the sand replacement by cement and SCBA obtained the best results in dry compressive strength at 7 and 28 days (112%; 159%), respectively when compared with the reference samples (soil and sand) and the values increased 25% when compared with the Brazilian Standard minimum performance requirements. In addition, the blocks had water absorption values 30% less than maximum values recommended by Brazilian Standard. The use of SCBA can reduce the environmental impact of masonry unit production, while meeting the current performance requirements.

INTRODUCTION

Interest in the use of more sustainable construction materials has increased worldwide. In particular attention has turned to the greenhouse gases emitted in the production of cement and other building materials. Therefore, natural materials that have significantly lower emissions are gaining increasing popularity. Earthen construction is one of the oldest building materials and has been used throughout the world. The earth is a natural material, easy accessed and widely available. Earth is undoubtedly one of the most widely-used construction materials in the world, ever since humans learnt to build homes and cities around 10,000 years ago. Perhaps as many as 50% of the populations in developing countries still live in earth homes (Houben & Guillaud, 1994). Because of this there has been a growing awareness on the importance of this type of construction. Compressed earth bricks have gained some acceptance as an economically viable and sustainable construction material. Different stabilisation techniques are used to improve the mechanical and durability characteristics of earthen materials. As the largest sugar cane producer in the world Brazil produces large quantities of co-products derived from sugar and ethanol production. These co-products are used in concrete production to reduce the cement content; they could also be used within stabilised soil. Onchiri, R. *et al.* (2014) studied the use of SCBA as a partial replacement for cement to stabilize self-interlocking compressed earth blocks. The compressive strength results obtained at the age of 7 and 28 days were 2.1 MPa and 3.0 MPa, respectively to the 3.2% SCBA. This study aims to improve the mechanical property and the durability of bricks made of soil stabilized with cement that uses an additive derived from an agricultural residue, in this case, the sugar cane bagasse ash.

1. MATERIALS AND EXPERIMENTAL METHODS

A sandy silt soil, used for fired clay brick production supplied by Istock Brick Ltd (Bristol, UK), was used for this study. The soil was characterized previously for earth construction by Maskell (2014). In this study pre-air ashes (Blaine: 358m²/Kg), from sugar/alcohol plant located in the state of Minas Gerais, Brazil, were used. This is one of four types of ash produced by this company. Two types of sand, defined as finely and coarsely graded, were also used.

Cement produced by Lafarge Brazil was used in this study. It was made with 95% wt. of clinker and 5% wt. gypsum. These materials were ground together until obtaining a 513 m²/Kg (Blaine). Subsequently, a new type of cement was produced with the replacement 10% wt. of the cement with equivalent volume of the SCBA (Pádua, 2012). The aim of this research was to study the effectiveness of this new cement (SCBA) as a stabilizer for soil block production, not to evaluate the cement with CBCA, it has previously been proven by Pádua (2012). Because of this the block with soil-sand was used as reference in this study, instead of a block with soil-sand-cement. Moreover, the quantity of the ash used in the cement is small.

The materials (soil and sand) were initially oven dried to constant mass at 105°C and then left to cool to ambient condition (20°C) before mixing (according to BS EN772-1:2000). Blocks with different compositions were investigated (in total eleven variations). These preliminary test blocks were made to evaluate feasibility and determine the quantity of the water needed. All compressed blocks were made using a manual block press machine, producing units measuring 141 mm x 296 mm x 80 mm. After initial curing for 7 days in a controlled environment (20°C and 60% RH), the prototype blocks were tested to determine compressive strength. Compaction tests were undertaken on cylindrical samples made with soil-sand and soil-sand-cement (with SCBA) to establish the optimum mixture design and moisture content in accordance with BS 1377-4 (1990). Preliminary block and cylinder mixes are summarised in Table 1.

Table 1- preliminary mixes investigated.

Identification	Mix	Water addition (%)	Quantity of samples	Curing ages (days)
RB8	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)	8	1	broken
RB9	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)	9	1	7
RB10	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)	10	1	7
RB11	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)	11	1	7
RB12	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)	12	1	7
5CB9	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	9	1	7
5CB10	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	10	1	7
5CB11	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	11	1	7
6CB9	Block:50% soil+ 44% (coarse and fine sand mixture)+6% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	9	1	7
6CB10	Block:50% soil+ 44% (coarse and fine sand mixture)+6% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	10	1	7
7CB12	Block:50% soil+ 43% (coarse and fine sand mixture)+7% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	12	1	7
RC9	cylinder:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- Proctor test	9	1	
RC10	cylinder:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- Proctor test	10	1	
RC11	cylinder:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- Proctor test	11	1	
RC12	cylinder:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- Proctor test	12	1	
5CC9	cylinder:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)- Proctor test	9	1	
5CC10	cylinder:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)- Proctor test	10	1	
5CC11	cylinder:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)- Proctor test	11	1	

Following preliminary tests mixtures were selected for further testing. Three specimens were made for each mixture (Reference block: 50% soil+ 50% coarse and fine sand; blocks made with: 50% soil+ 45% coarse and fine sand mixture+5% cement with SCBA-10% wt. cement replacement by SCBA in volume) with 9% water content by mass. The wet and dry compressive strengths were determined at 7 and 28 days. These blocks were designated: RB9W7, RB9D7, 5CB9D7, 5CB9W7, RB9W28, RB9D28, 5CB9D28 and 5CB9W28, as shown on Table 2.

Table 2 - mixes investigated.

Identification	Mix	Water addition (%)	Quantity of samples	Curing ages (days)
RB9D7	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- dry compressive strength	9	3	7
5CB9D7	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	9	3	7
RB9W7	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- wet compressive strength	9	3	7
5CB9W7	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)- wet compressive strength	9	3	7
RB9D28	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- dry compressive strength	9	3	28
5CB9D28	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)	9	3	28
RB9W28	Block:50% soil+ 50% (coarse and fine sand mixture)- wet compressive strength	9	3	28
5CB9W28	Block:50% soil+ 45% (coarse and fine sand mixture)+5% cement with SCBA (10% wt. cement replacement by SCBA in volume)- wet compressive strength	9	3	28

Durability test by water absorption test was also investigated at 28 days according to the Brazilian Standard (ABNT NBR 8492, 1984). Three samples with each mixture were measured.

2 . RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 shows the chemical composition of the clinker and gypsum.

Table 3 –Chemical composition of the clinker and gypsum.

constituents	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LOI*	CaO free	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A F	IR**	AM**	BI***	Total
clinker (%)	21,17	5,91	3,90	65,51	0,89	0,78	0,046	0,999	0,20	1,04	54,71	19,08	9,08	11,85	0,10			
gypsum (%)	1,05	0,31	0,12	30,90	6,12	43,80		0,08	17,43							3,2	35,60	99,81

*LOI:Loss on ignition**IR: Insoluble residues***AM: average moisture****BI: Basicity index

The chemical composition of the SCBA studied is: silica (52.5%), aluminium oxide (11.4%), iron oxide (5.8%), calcium oxide (5.9%), magnesium oxide (3.5%), sulphur trioxide (2.4%), potassium oxide (12.0%), phosphorus pentoxide content (4.0%), with a high loss on ignition of 20%. The comparatively low silica content resulted from the incomplete combustion of bagasse, demonstrated further by a high content of loss of ignition. The X-ray diffraction pattern of the ash obtained from the pre-air region of the boiler has a medium to high level of crystallinity. There is a higher percentage of the quartz

and low percentage of the others crystalline phases (hematite, cristobalite and albite) in the sample.

The microscopy of SCBA (a,b) and cementitious composites with 10% the pre-air ash at 28 days of hydration (c,d) is shown in Fig. 1. It can be observed in photomicrograph (a,b) that the ash granulometry is irregular and has little porosity. In photomicrographs (c), (d) note that there is a very rough surface with some pores. Several poorly defined flat plates were also observed, indicating that Portlandite (1d), but does not have its usual well defined form.

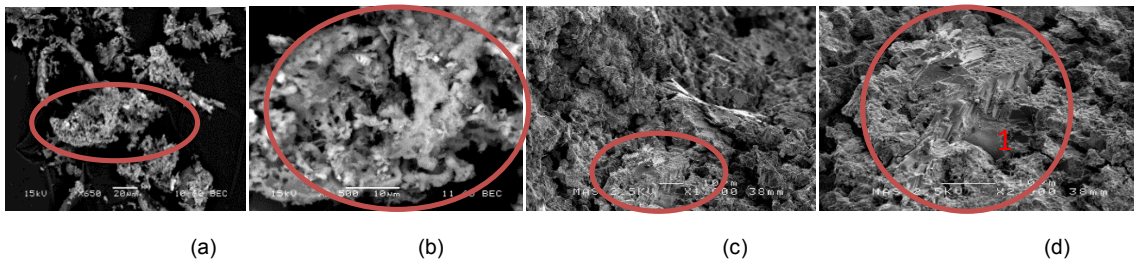


Figure 1. Photomicrographs of SCBA and composites with SCBA, images by SEM, increases: 650 (a), 2500 (b), 1000 (c) 2000 (d).

Fig. 2 shows the dry unit weight and optimum moisture content of the reference and 5% cement (SCBA)-soil-sand samples. The reference samples had values of 19.9kN/m^3 with an optimum moisture content of 9.3%, corresponding to mix in which 9% water was added. However, the 5% cement with ash samples had values of 18.7kN/m^3 with 9.0%, corresponding with the 10% water addition at mixing. This difference was attributed to the use of the cement and corresponding hydration reactions. However, the difference between the 9% and 10% cement stabilised mixes was not large. Therefore, to reduce the variables in the study, a consistent amount of water (9%) was added to all samples.

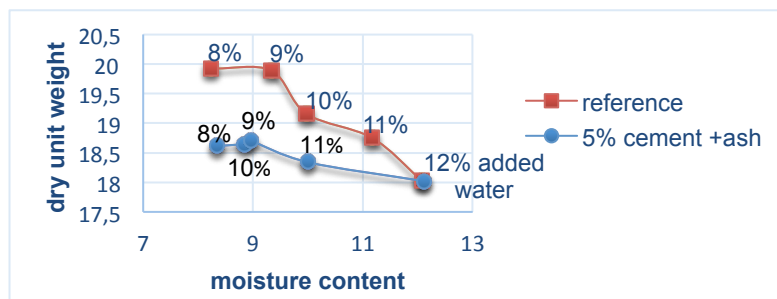


Figure 2. Optimum moisture content.

The blocks containing 9% water added to the mixture showed better compaction (Fig. 3a). For the other water contents the materials were less homogeneous and more friable (Fig. 3b,c). It was also noted that when mixed, the materials with higher water contents showed more pelletizing- little balls (Fig. 3d).



Figure 3. Blocks made with 5% cement+ SCBA with 9% (a), 10% (b) and 11% (c) water content added, respectively (5CB9, 5CB10 and 5CB11) and pelleted mixture in the small pan mixer (d).

Fig. 4(a) shows the preliminary test results for 7 days dry compressive strength blocks with varying mixtures and moisture content at compaction. Fig. 4(b) shows the effect of cement with ash on the 7 and 28 days compressive strength (dry and wet).

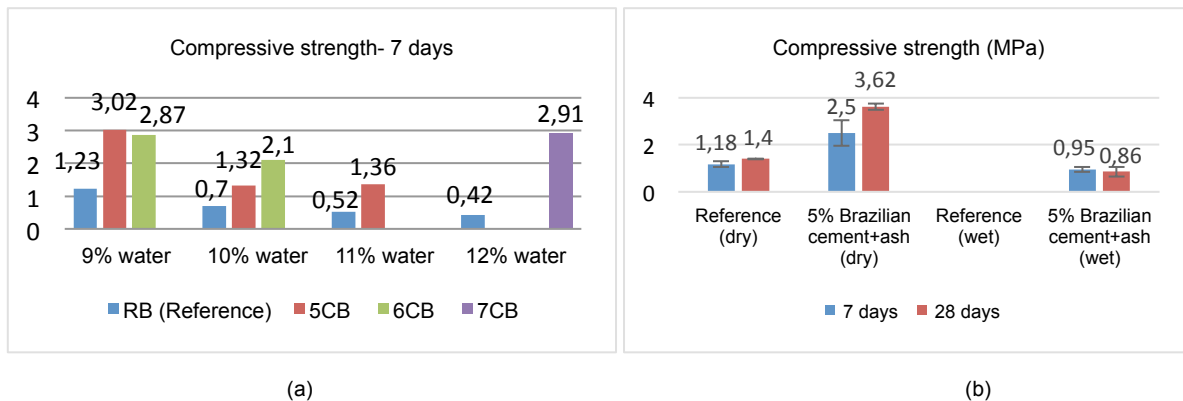


Figure 4. Compressive strength of blocks after 7 days of curing in controlled chamber (a). Compressive strength (dry and wet) of blocks (b).

As expected, all blocks containing cement had higher compressive strength results than the respective reference blocks. The best results were obtained with blocks made with 9% added water (5CB9, 6CB9). The most suitable moisture for blocks made with this mixture of soil-sand-cement (SCBA) was therefore 9%, in keeping with results obtained from the test Proctor. The block 5CB9 obtained compressive strength values of 145% more than the respective reference blocks. Block 6CB9, despite having higher cement content, did not have higher strength. Despite increasing the amount of water in the mixture, the compressive strength of the block decreased (about 26%) than the block with the same mixture with 9% added water (5CB9). The blocks 5CB9, 6CB9, 6CB10, 7CB12 achieved compressive strengths above that required by the Brazilian standard (1,7 MPa). In contrast to expectations, higher cement content did not directly result in higher compressive strength. The best result of the all samples was obtained by the blocks made with 5% cement-SCBA-soil-sand, 9% added water in the mixture (5CB9). These results are in accordance with those reported by Houben, H. & Guillard, H. (1994). As the objective of this study was the soil stabilization with the least amount of possible cement, further work focused on blocks made with 5% cement.

Blocks made with 5% cement and ash-soil-sand had better strength results compared to the reference blocks at 7 and 28 days. The compressive strength of the cement stabilised blocks were 112% and 159% higher respectively. In general the samples at 28 days showed improved compressive strength compared to 7 day performance, with exception of the samples tested for wet compressive strength, which achieved almost the same result. The dry compressive strength obtained at the age of 7 and 28 days for the samples with 5% cement with SCBA produced the highest strength, greater than that specified in the Brazilian Standard (ABNT NBR 8491, 1984). The samples made with 5% cement (SCBA)-soil-sand, obtained a 13.8% of water absorption after 28 days. This value is less than that specified in the Brazilian Standard (ABNT NBR 8492, 1984), which requires maximum 20% of average water absorption.

3 . CONCLUSIONS

The results from the experiments show that the moisture content of blocks at testing has a significant influence on the compressive strength. A higher compressive strength in the

preliminary test was obtained with cement and SCBA stabilisation (content 5%) with 9% water content (5CB9). Blocks with this composition showed higher dry compressive strength at 7 and 28 days than the reference samples and the Brazilian standard requirements. Samples containing 5% cement (SCBA)-soil-sand complied with the water absorption test requirement of the Brazilian Standard (NBR 8492, 1984). Blocks made with soil-sand-cement (SCBA) have improved durability and will reduce the environmental impact of masonry unit production, while meeting the current performance requirements.

4 . ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the financial support for this research by CAPES Foundation (Ministry of Education of Brazil), process nº 2591-13-8, to allow Paula G. L de Pádua to do her Post-Doctorate in University of Bath, UK. Lafarge Brasil, Destilaria Alpha Company and Ibstock Brick Ltd for supplying materials.

REFERENCES

- Houben, Hugo and Guillaud, Hubert (1994). *Earth construction. A comprehensive guide*. Intermediate Technology publication.
- Padua, P.G.L. (2012). *Desempenho de compósitos cimentícios fabricados com cimentos aditivados com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar in natura e beneficiadas*. Theses of Doctorate in Structural Engineering, (Federal University of Minas Gerais).
- Onchiri, R., K. James, et al. (2014). "Use of sugarcane bagasse ash as a partial replacement in stabilization of self-interlocking earth blocks." *Journal Impact Factor* 5(10): 124-130.
- Maskell, Daniel. *Development of stabilized extruded earth masonry units*. Theses of Doctorate in Civil Engineering (University of Bath), 2013.
- BS 1377-4 (1990). *Soils for civil engineering purposes - Part 4: Compaction-related tests*. British Standards Institute (BSI).
- ABNT NBR 8492 (1984): *Tijolo maciço de solo-cimento- determinação da resistência à compressão e da absorção d'água*. ABNT (Technical Standards Brazilian Association), Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 8491 (1984): *Tijolo maciço de solo-cimento*. ABNT (Technical Standards Brazilian Association), Rio de Janeiro.
- BS 5628 (2005)-1: *Code of practice for the use of masonry- Part 1: Structural use of unreinforced of masonry*. British Standards Institute (BSI).

BIOGRAPHY

Dr. Paula Gisele Lamezon de Pádua: Bachelor in Architecture and Urbanism. She obtained her MS in 2008, doctorate in Structural Engineering, both from the Federal University of Minas Gerais (2012) and Post-Doctorate in Civil Engineering at University of Bath (UK). She has experience in research on the following subjects: mechanical properties, concrete, cement, demolition and construction waste, sintering process, sugar cane bagasse ash (SCBA), SCBA-cement-soil blocks and rice husk ash.

Dr. Daniel Maskel: Researcher Associate in the Department of Architecture and Civil Engineering. His research interests are related to sustainable construction with a focus on natural and non-conventional building materials and methods. Daniel stayed within the department to undertake a URS funded PhD investigating the development of earthen construction techniques for mainstream use.

Professor Andrew Heath: Andrew Heath is a Professor in Geomaterials in the Department of Architecture & Civil Engineering at the University of Bath. His teaching and research are related to soils, transport infrastructure and sustainable construction. He obtained his MS in 2000 and PhD in 2002 in Civil and Environmental Engineering, both from the University of California at Berkeley. He joined the Department of Architecture and Civil Engineering at the University of Bath in 2003.

Professor Pete Walker: Pete Walker is a chartered civil engineer and a member of both the Institution of Engineers Australia and The Institution of Civil Engineers (UK). Having previously worked in Zimbabwe (University of Zimbabwe) and Australia (University of New England), Pete joined the University of Bath in 1998. He was promoted to Professor in 2006 on becoming Director of the newly formed BRE Centre for Innovative Construction Materials.



Procédé innovant pour développement d'un béton d'argile auto-plaçant

Gnanli LANDROU, Coralie BRUMAUD, Guillaume HABERT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

Dans le secteur de la construction, le ciment est responsable de 8% des émissions carbone et cette valeur augmente avec la croissance de la population urbaine. Il est de ce fait urgent de développer des matériaux constructifs alternatifs. Avec des possibilités infinies de recyclage et sans nécessité de transport, le matériau terre est l'un des matériaux de construction ayant un impact environnemental quasi-nul.

Le but de cette étude est de développer un béton de terre coulé et pas cher d'utilisation avec un impact environnemental faible. Les mesures rhéologiques et de zêta potentiels effectuées montrent que le sodium silicate (NaSil) et le sodium hexametaphosphate (NaHMP) réduisent la contrainte seuil d'écoulement de la pâte de terre. Ils confèrent au matériau une meilleure maniabilité avec très peu d'eau pour pouvoir être coulé : **déflocculation**. L'adsorption des dispersants à la surface des particules d'argile augmente les forces répulsives : avec une action électrostatique pour NaHMP et une combinaison électro-stérique pour NaSil. L'ajout d'hydroxyde de calcium caractérisé par des essais rhéologiques oscillatoires permet une meilleure compréhension de la structuration des particules d'argile : **coagulation**. Le calcium présent en solution réagit avec l'argile et les dispersants pour précipiter du calcium silicate hydrate et de l'hydroxyapatite, observés par DRX.

INTRODUCTION

Avec des possibilités infinies de recyclage et sans nécessité de transport, le matériau terre est l'un des anciens matériaux de construction ayant un faible impact environnemental (Anger, Fontaine 2009). De plus, il fournit une régulation thermique très efficace des espaces de vie intérieurs. Récemment, nous observons un essor mondial de la construction en terre dû à des préoccupations environnementales.

Cependant, le développement de la construction en terre est limité de par les techniques conventionnelles de construction en terre ainsi que par la facilité d'utilisation des matériaux cimentaires (Schneider, Romer *et al.* 2011). Bien qu'un grand nombre d'études scientifiques sont menées sur le ciment et le béton enfin d'optimiser leurs performances et de réduire leur impact carbone résultant de leur production, très peu d'améliorations techniques ont été apportées au matériau terre (van Damme 2013). Toutefois, les études récentes menées par CRATerre France et l'université de Mokpo (Kang 2011) ont permis d'initier le développement de la terre coulée.

L'objectif de cette étude est d'étudier ce matériau facile à utiliser que le béton mais avec un impact environnemental négligeable et une durée de décoffrage de 24 heures en effectuant un transfert de technologie de la science des céramiques, de la technologie du béton vers la terre. Cela est possible car l'argile et le ciment jouent des rôles similaires de liant et sont analogues en termes d'interactions colloïdales et des forces d'adhérences (Pellenq, Lequeux *et al.* 2008). Dans cet article, nous nous concentrons sur le développement du béton d'argile auto-plaçant basé sur deux procédés : (i) la **déflocculation** à l'aide des plastifiants connus pour garantir une fluidité des suspensions concentrées d'argile et (ii) la **coagulation** obtenue à travers l'introduction d'ions calcium qui interagissent à la fois avec la surface des particules d'argile et avec les dispersants des argiles afin de retirer le coffrage au bout d'un jour.

1 . CONSTAT EXPERIMENTAL

Lors de cette étude, une terre commerciale provenant de Stroba® ($S_{BET} (m^2/g)=46.91$; $d_{median}=17.22 \mu m$) et de l'argile kaolinite pure d'Alberto Luisoni AG ($S_{BET} (m^2/g)=9.07$; $d_{median}=8.69 \mu m$) ont été utilisées. La composition chimique obtenue par fluorescence de rayons X(XRF) est donnée dans le tableau 1.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Autres	LOI
Terre	65.80%	1.18%	14.91%	7.43%	2.38%	2.84	5.02%
Kaolin FP80	48.02%	0.33%	35.98%	0.44%	1.29%	0.24	12.41%

Tableau 1. Analyse XRF pour la composition chimique de la terre et la kaolinite étudiées

Les dispersants étudiés sont issus de l'industrie céramique: le sodium hexametaphosphate (noté ici NaHMP) et une solution de silicate de sodium(noté ici NaSil) avec une composition de 10.6% et 26.5% respectivement pour Na₂O et SiO₂. L'hydroxyde de calcium(CaOH₂) a été utilisé comme coagulant.

1.1. Déflocculation

Afin d'étudier l'effet des agents dispersants sur la pâte de terre, les mesures rhéologiques ont été effectuées sur des pâtes de terre ayant un ratio eau sur terre de 0.5(W/E=0.5), mélangé 3 min à 365 rpm à l'aide d'un agitateur mécanique. Tous les dosages de dispersants sont exprimés en pourcentage de la masse des matières solides dans le système et l'eau utilisée est dé-ionisée. Les mesures de rhéologie ont été effectuées en utilisant un rhéomètre à contrainte imposée (MCR501 Anton Paar®), équipé d'une géométrie à ailettes (géométrie Vane).

La Figure 1a) montre l'évolution du seuil d'écoulement en fonction du pourcentage de dispersant introduit. Comme attendu, en présence des dispersants, la contrainte seuil d'écoulement diminue, ce qui améliore la fluidité et donc la maniabilité de la pâte. Le comportement rhéologique des suspensions d'argile étant contrôlé par la charge de surface des particules d'argile, les dispersants modifient la charge de surface de l'argile(Andreola, Castellini et al. 2007).Par ailleurs, les mesures de ζ potentiel faite sur la suspension (8wt%) concentrée de terre avec le ZetaProbe (Colloidal Dynamics®) donnent une indication sur la charge de surface des particules d'argile en suspension. Les valeurs de potentiel ζ -mesurées (tableau 2) pour la pâte de terre de référence et celles préparées avec 0.2% NaHMP et 0,3%NaSil confirment l'action des dispersants sur les particules d'argiles en augmentant leur charge de surface par un facteur proche de deux et plus.

	Reference	0.2% NaHMP	0.3% NaSil
Moyenne ζ [mV]	-4.6	-13.4	-9.7
SD [mV]	±0.1	±0.4	±0.2

Tableau 2: Valeur du potentiel Zéta pour la terre de référence, la terre préparée avec 0.2% NaHMP et celle préparée avec 0.3% NaSil

Au vu de ses résultats, nous sommes en mesure de déterminer les dosages de NaSil et NaHMP requis pour disperser la pâte de terre tout en assurant une homogénéité et une stabilité de la suspension. De plus, ce résultat confirme le fait que ces adjuvants inorganiques dispersent les particules d'argile en augmentant les forces répulsives entre les particules.

1.2. Coagulation

Pour étudier la coagulation, le module élastique des pâtes a été mesuré au cours du temps en imposant une fréquence constante de 1Hz et en appliquant une contrainte également constante de 1Pa durant 6 heures. Ce test permet de suivre les changements structuraux qui se déroulent dans le temps dans notre système après addition des dispersants et du coagulant. L'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a été introduit dans le mélange terre dispersée afin d'étudier son effet sur la rhéologie, et sa capacité à coaguler les particules dans un délai de 24 heures. A cet effet, les dosages ont été calculés de manière à présenter la même quantité de calcium dans le système (indépendamment de la solubilité). Les rapports Ca/Si (pour NaSil) et Ca/P (pour NaHMP) sont respectivement fixés à 1,3 et 1.5. Le composé contenant du calcium a été introduit sous forme de poudre après le mélange de l'eau avec de la terre.

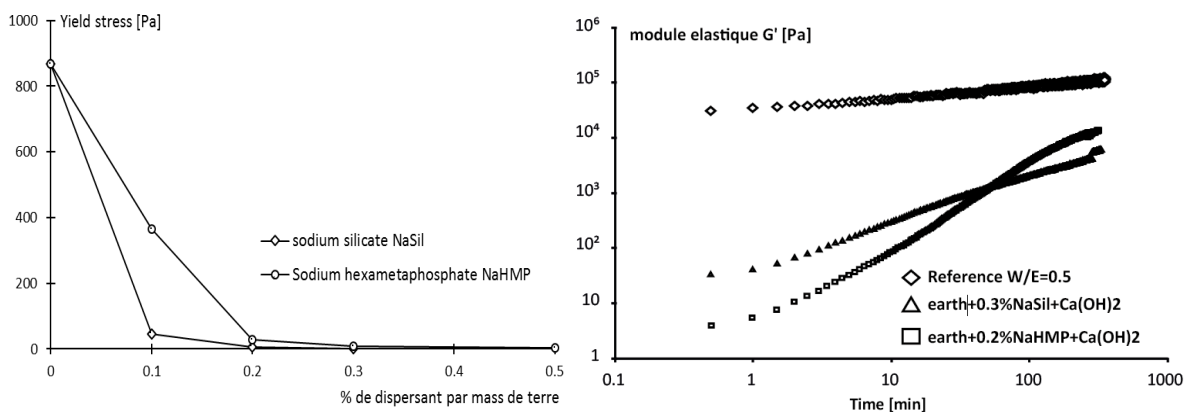


Figure 1. Effet des dispersants sur la contrainte seuil de la pâte de terre (a), évolution du module élastique en fonction du temps après addition du calcium avec 0.3% NaSil ou 0.2% NaHMP (b)

De manière générale, le module élastique augmente avec le temps (Fig1b). Ceci montre que le qu'une lorsque le calcium est ajouté au système, une coagulation différée au sein du matériau a lieu.

2 . COMPREHENSION DES MECANISMES

Les observations macroscopiques montrent que le développement de la terre auto-plaçante nécessite de disperser la terre pour une mise en forme facile. L'ajout d'hydroxyde de calcium accélère le procédé de coagulation. Bien qu'il soit possible de disperser et de coaguler la terre, il reste pertinent de comprendre les mécanismes et mode d'action des additifs afin de contrôler et d'améliorer le procédé.

2.1. Défloculation

Les mesures rhéologiques montrent que NaSil et NaHMP sont efficaces pour disperser la terre (Fig1a). Cependant, leur mode d'action reste inconnu. Pour comprendre le mécanisme de dispersion, nous nous sommes intéressés à des suspensions et des pâtes concentrées de kaolinite pure. Nous avons tracé l'évolution de la contrainte seuil d'écoulement en fonction du potentiel zêta au carré ζ^2 en prenant en compte la théorie DLVO qui prédit une évolution linéaire entre ces deux paramètres si l'interaction répulsive est électrostatique (Leong and Ong 2003). Les mesures rhéologiques et les mesures de

zêta potentiel sont réalisées aux mêmes dosages de dispersant afin de comparer les résultats.

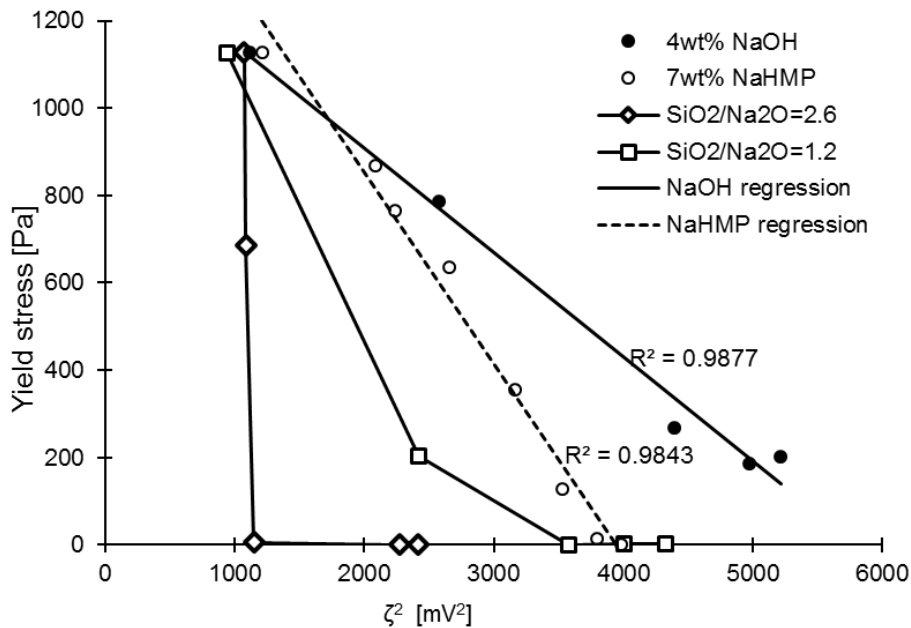


Figure 2 : Relation entre la contrainte seuil et le potentiel zêta au carré pour une suspension (8wt%) de kaolinite

Les résultats de ces expériences réalisées sur la kaolinite (Fig 2) montrent une évolution linéaire lorsque NaOH et NaHMP sont utilisés en tant que dispersant, ce qui n'est pas le cas lorsque NaSil est introduit. Ceci suggère que NaOH et NaHMP, selon la théorie DLVO, dispersent l'argile par un effet électrostatique alors que NaSil montre un effet combiné stérique/électrostatique qui dépend du rapport SiO₂/Na₂O.

2.2. Coagulation

Pour identifier les produits de réaction à l'origine de la coagulation, NaSil et NaHMP préalablement dissous dans l'eau sont mélangés avec Ca(OH)₂. Les produits de réaction sont séchés à l'étuve (60°C, 50mbar). La composition minéralogique des produits de réaction formés a été déterminée par diffraction des rayons X (DRX) sur des échantillons de poudre.

L'identification des pics des diagrammes de DRX (Fig. 3) montre la précipitation de deux phases principales : formation de plombiérite (quand Ca(OH)₂ mélangé avec NaSil), élément de structure du silicate de calcium hydraté (C-S-H)(Nonat 2004), et la formation de l'hydroxyapatite (HA) (mélange Ca(OH)₂ avec NaHMP) faisant partie de la famille de calcium phosphate. Des phases résiduelles de carbonate de sodium, de carbonate de calcium et d'hydroxyde de calcium sont obtenues provenant principalement de la méthode de séchage.

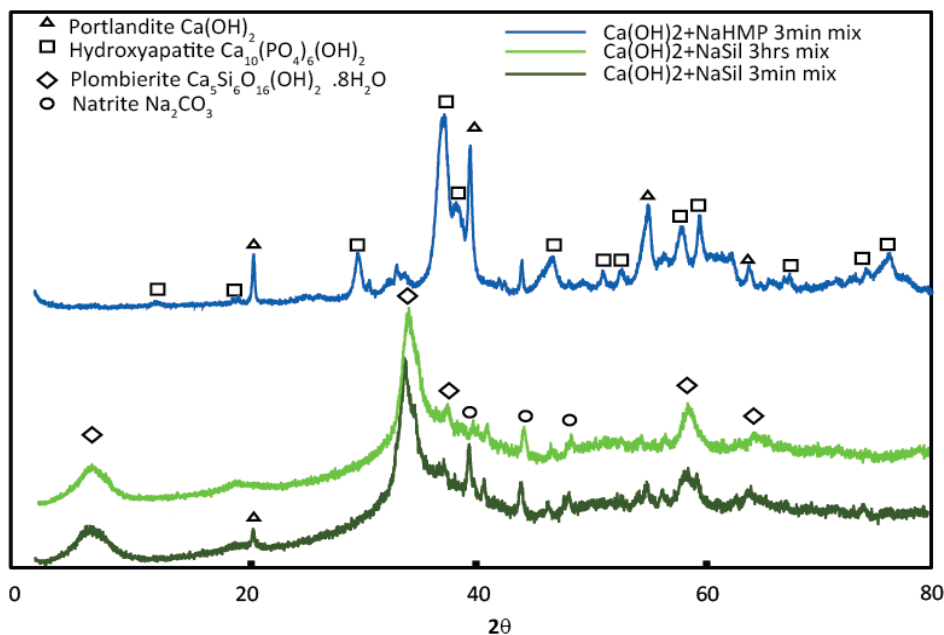


Figure 3 : Diagramme DRX des produits précipités en mélangeant Ca(OH)_2 avec NaSil ou NaHMP

En mélangeant du Ca(OH)_2 avec du NaSil, le diagramme DRX montre qu'au bout de 3 minutes, des pics de Ca(OH)_2 peuvent encore être identifiés, mais après 3 heures de mélange, les pics de Ca(OH)_2 ont disparu et les pics C-S-H sont plus dominants. Par contre l'utilisation de NaHMP montre une précipitation rapide d'hydroxyapatite (HA). Ces résultats confirment le mécanisme de la coagulation de la terre par addition d'un minéral à base de calcium. En outre, le processus implique un couplage de la dissolution de la portlandite et la précipitation du C-S-H et HA, ce qui retarde le processus de coagulation donnant le temps ouvert pour couler la pâte de terre dans le coffrage.

Sur la Figure 4, l'évolution du module élastique en fonction de la déformation de la pâte de terre montre que la déformation critique en présence du NaSil est de l'ordre de 15% alors que pour la pâte de référence et la terre défloculée puis coagulée, la déformation critique est de l'ordre de 1%.

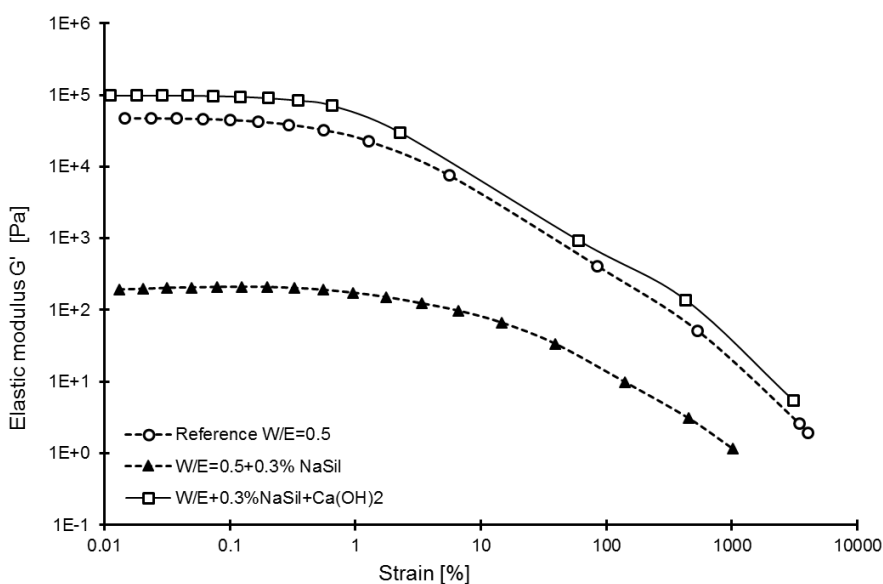


Figure 4. Evolution du module élastique en fonction de la déformation pour différent mixes

L'ordre de grandeur de la déformation critique met en évidence la capacité du réseau de structure de se déformer sous contrainte, et définit la nature des interactions. La Figure 4 montre deux choses : premièrement, le dispersant adsorbé à la surface des particules d'argiles est à l'origine de forces répulsives stériques mesurées. L'addition de NaSil éloigne les particules d'argile entre elles. Deuxièmement, l'addition de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ permet de retrouver le même comportement que la terre de référence. Ceci suggère que la précipitation de C-S-H permet de retrouver le même état de coagulation : même module élastique et déformation critique. Étant donné que l'état initial est récupéré, la structure interne et le type d'interactions de la matière ne sont pas modifiés. L'hydroxyde de calcium joue le rôle d'anti-plastifiant et annihile l'effet du dispersant en solution.

3. CONCLUSION

Les stratégies qui ont été testées sont prometteuses et permettent le développement d'un béton d'argile auto-plaçant aussi simple à mettre en œuvre que le béton de ciment mais avec un impact environnemental négligeable. Grâce à une modification des propriétés des argiles avec des dispersants inorganiques et un minéral contenant du calcium, il est possible de disperser et retarder la coagulation de la pâte de terre. L'utilisation de NaSil et de NaHMP comme agents dispersants conduit à une réduction considérable de la contrainte seuil due à des interactions répulsives électro-stériques pour l'un et électrostatiques pour l'autre. De plus, l'addition d'hydroxyde de calcium à la terre dispersée induit la coagulation des particules d'argiles. Grâce à la dissolution lente du calcium hydroxyde qui libère des Ca^{2+} dans la solution interstitielle, la coagulation est retardée ce qui laisse un délai pour mettre en œuvre le produit final. Lors du processus de coagulation, les ions calcium libérés réagissent avec les argiles et dispersants pour former du C-S-H ou du HA qui annulent l'effet dispersant de NaSil et NaHMP sans toutefois changer le comportement de la terre.

Toutefois, il reste nécessaire de poursuivre le développement d'un béton d'argile auto-plaçant. En effet, ce processus permet de conserver le même matériau initial, mais pas d'améliorer sa cohésion interne et sa résistance. Par conséquent, une élimination supplémentaire de l'eau serait nécessaire afin de parvenir à une plus grande résistance.

REFERENCES

- Andreola, F., E. Castellini, G. Lusvardi, L. Menabue and M. Romagnoli (2007). "Release of ions from kaolinite dispersed in deflocculant solutions." *Applied Clay Science* **36** (4): 271-278.
- Anger, R., L. Fontaine (2009). *Bâtir en terre: du grain de sable à l'architecture*.
- Kang, N. H., H (2011). study on high strengthening of an earth wall using earth and high performance lime In: Heyzoo Hwang HG, and David Gandreau. *2011 International conference on earth architecture in Asia*. . T. 2011. Mokpo, Republic of Korea.
- van Damme H., (2013). "La terre, un béton d'argile" *Pour la Science - n°423, Physico-chimie*: 50-57
- Leong, Y. K. and B. C. Ong (2003). "Critical zeta potential and the Hamaker constant of oxides in water." *Powder Technology* **134** (3): 249-254.
- Nonat, A. (2004). "The structure and stoichiometry of C-S-H." *Cement and Concrete Research* **34** (9): 1521-1528.
- Pellenq, R. J. M., N. Lequeux and H. van Damme (2008). "Engineering the bonding scheme in C-S-H: The ionic-covalent framework." *Cement and Concrete Research* **38** (2): 159-174.
- Schneider, M., M. Romer, M. Tschudin and H. Bolio (2011). "Sustainable cement production—present and future." *Cement and Concrete Research* **41** (7): 642-650

BIOGRAPHIE

Diplômé de l'Université de Limoges avec un Master en Physique et Chimie des Matériaux Hautes Performances, **Gnanli Landrou** a rejoint la Chaire de Construction Durable de l'ETH Zürich pour effectuer un doctorat sur le développement d'un béton d'argile auto-plaçant à travers l'étude des propriétés des argiles.

Avant de rejoindre l'ETH Zürich pour étudier la rhéologie des argiles et travailler sur le développement de matériaux alternatifs pour la construction, **Coralie Brumaud** a effectué son doctorat sur la rhéologie des suspensions cimentaires au LCPC à Paris et travaillé en tant qu'ingénieur de recherche au sein de Saint-Gobain Recherche.

Après l'obtention d'un doctorat en Géologie structurale, **Guillaume Habert** a intégré le LCPC à Paris en tant que Chargé de Recherche. Ses travaux sur l'évaluation environnementale des matériaux de construction et sur le développement de nouveaux liants tels que les géopolymères l'ont mené à la direction de la Chaire de Construction Durable au sein de l'ETH Zurich.



Evaluation of available pre-mixed replacement external renderings

Luís MATEUS, Maria DO ROSÁRIO VEIGA, Jorge DE BRITO

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The Algarve region in southern Portugal has one of the most significant rammed earth construction legacies in the country. Some modern architects are adapting this kind of material to new construction. This construction method is characterized by its high susceptibility to water damage. The main objective of this characterization study of the renderings is to identify composition and behaviour patterns in order to understand the natural degradation phenomena and how they are associated with the background characterization. Another purpose is the search for pre-mixed renderings compositions, potentially compatible with this kind of substrate and suitable for the repair of damaged external renderings. Fifteen earth buildings were selected to represent this heritage and its composition diversity. Rendering and substrate samples were extracted from those constructions. Hydric, physical, mechanical and chemical properties of ancient renderings are evaluated through laboratory tests. *In situ* tests are carried out to evaluate hydric and mechanical properties of some pre-mixed rendering solutions available in the market. Laboratory and *in situ* results are discussed. The conclusions are presented regarding the performance of ancient and pre-mixed renderings. None of the pre-mixed renderings show an ideal behaviour, regarding the features tested.

1. INTRODUCTION

Within a PhD study at Instituto Superior Técnico, characterization tests were performed by the first author at the National Laboratory for Civil Engineering (LNEC) and on site, allowing the establishment of analysis criteria aiming at understanding the degradation phenomena of ancient renderings and the potential use of pre-mixed renderings available in the market for ancient buildings. The use of protective renderings is common in Portugal, unlike in other regions of the world. These constructions have external renderings made of coats of mortar with lime, clay and sand, made on site. Renderings are the first physical barrier inhibiting the direct contact of water with rammed earth substrates, preventing leaching of the fine aggregates and loss of load bearing cross-section (Magalhães and Veiga 2009). The renderings must also have high permeability, allowing the exchange of water vapour between the earth substrate and the exterior, preventing large periods of water retention in the substrate and rendering. The main degradation phenomena are also related to the poor resistance of the earth substrate to horizontal actions. The main objective of the characterization process of the renderings is to understand the natural degradation phenomena and how they are associated with the background characterization (Mateus et al. 2014). A set of ancient rendering samples was assembled for their hydric, physical, mechanical and chemical characterization in laboratory. In addition, some pre-mixed mortars were applied in a rammed earth construction, in order to evaluate some of their hydric and mechanical features using *in situ* procedures. According to the manufacturers information, CBR1, CBR3 and CBR5 pre-mixed renderings are hydraulic lime based mixes with synthetic fibres, CBR2 is an air lime based mix, and CBR4 is a hydraulic-based mix with cork aggregates.

2. CHARACTERIZATION METHODOLOGY

The laboratory campaign concerned ancient renderings and substrates. The collection of samples of ancient rammed earth buildings focused the following aspects: i) type of substrate: rammed earth; ii) type of coating: exterior; iii) geographical area: western Algarve;

iv) type of construction: current dwelling 1 to 2 storeys above ground; v) construction period: from 1850 to 1950. Fifteen ancient buildings were selected to test their renderings.

Rendering samples from all the fifteen ancient buildings were submitted to water absorption and drying tests; elasticity modulus; open porosity; insoluble residue; and mineralogy.

The capillary absorption and drying tests aimed at defining the level and rate of water absorption of applied renderings and correlating them with the drying rate. The 45 specimens - 3 for each of 15 buildings selected were tested according to LNEC test procedures (test sheet Pa40), developed for irregular sized samples of traditional renderings within previous projects (Veiga et al. 2004).

The compressive strength tests aimed at establishing direct relationships between the strength capacity of existing coatings in the buildings selected and strength capacity of the rammed earth substrate (Veiga et al. 2001). For each of the fifteen buildings, 3 rendering samples and 5 substrate samples were tested. These rendering samples have irregular sizes and were extracted using low intrusive tools in order to preserve their integrity. Methods developed at LNEC within earlier research projects on old renderings were used (Valek and Veiga 2005), described in LNEC test procedure (test procedure Pa42), using a loading rate of 100N/s.

The elasticity modulus tests aimed at evaluating the renderings stiffness, through the determination of the ultra-sound pulse velocity using the indirect method, suitable for small samples with variable thickness. This methodology, usually applied at LNEC (test sheet Pa43), is based on the European Norm EN 12504-4. For that purpose, one sample was selected for each of the 15 constructions.

The open porosity tests purpose is to determine the rendering volume occupied by open pores. This is related with the type of pores that can be filled with water, pore radius distribution and connectivity. Therefore, the open porosity is related with the potential infiltration of soluble salts. The methodology used can be applied to regular or irregular samples, according to the RILEM I.1 and RILEM I.2 procedures.

The insoluble residue test aimed at determining the ratio aggregate: binder. The most common binder of ancient renderings is aerial lime. In that kind of rendering, the insoluble residue can be, approximately, associated with the non-calcareous part of it, and mainly composed by the non-calcareous aggregate. Methods developed at LNEC within earlier research projects on old renderings were used (Silva 2003; Veiga et al. 2001).

In addition, mineralogy tests were carried out, to identify the main chemical components of these 15 renderings. So, XRD (x-ray diffractometry) and TGA (thermogravimetric analysis) tests were performed (Silva 2003). Mass losses in TGA were determined for the following temperature limits: ambient temperature - 200 °C, 200-380 °C, 380-550 °C, 550-850 °C and 850-1000 °C. These tests were performed in the Materials Department at LNEC.

Five pre-mixed commercial brand rendering samples were applied in one of the ancient buildings. Each rendering sample is 1.80 x 1.00m wide. *In situ* tests were performed to evaluate the water absorption and surface hardness, using specific test procedures. These tests were carried out 90 days after *in situ* application. The Karsten tubes method was also applied to the rammed earth substrate of that specific building. These *in situ* tests delivered different outputs that can be related with the laboratory ones, although they cannot be directly compared. The water absorption test using Karsten tubes aimed at establishing the commercial renderings response to water contact. The Karsten tubes simulate the real

scenario of rain exposition. This methodology follows the EN16302 and LNEC Pa39 test procedures. The water absorption was measured every minute in the first 5 minutes, and every 5 minutes for an hour period. For comparison purposes, Karsten tubes tests were also performed in the original rendering (Fig. 1).



Figure 1. Karsten tubes test in commercial renderings and ancient renderings; pendulum hammer test.

To analyse the mechanical compatibility of the pre-mixed renderings, mechanical strength tests were carried out using the Schmidt pendulum hammer model PM (Fig. 1). These tests were carried out 90 days after *in situ* application, according to RILEM TC 127 MS procedures. This non-intrusive method measures the rendering surface hardness. The output is the rebound of the pendulum mass, measured using the equipment degree scale. Since these renderings are available in the market, compression strength reference values provided by the rendering manufacturers can be taken to evaluate the reliability of this test. Twenty tests were performed per pre-mixed rendering, in a total of 100 tests. Twenty tests were also performed in the original ancient rendering of that specific building where the pre-mixed renderings were applied.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The highest absorption rate in old renderings occurs in the initial water absorption period (first 5 minutes) and overall water absorption occurs during the first 25 minutes of exposure, resulting in high amount of absorbed water by capillarity (Fig. 2); drying periods are significantly larger. This implies a water retention period in the interface between the coating and the rammed earth substrate, and the contact of infiltrated water with the rammed earth substrates and their progressive degradation. The water absorption rates of the tested new commercial renderings have a wide range of values: two of these renderings absorb less water than the building existing rendering. Two of the pre-mixed renderings have much lower absorption rates than the ancient renderings and two others have much higher absorption rates than the ancient renderings (Fig. 3).

The results of porosity of existing renderings are consistent with the ones usually obtained in traditional lime renderings; the average value is 26.3%. These porosity results reveal high porous renderings, with high potential of water retention and salt crystallization.

In most ancient buildings tested, there is a significant difference between the average compressive strength of old renderings and substrates; in average, the old rendering's strength is up to 2 times higher than that of the substrate (Fig 4); this generates excessive stresses in the interface with the rammed earth substrate (Binda et al. 2000), promoting loss of adherence between these materials. Pre-mixed renderings CBR1, CBR3 and CBR5 have similar levels of compressive strength and higher than most of the ancient

renderings tested, meaning low mechanical compatibility of those pre-mixed renderings with the rammed earth substrates. The CBR2 rendering has lower compressive strength and, in spite of that, a higher pendulum rebound, which can be due to its higher adherence to the substrate. It was not possible to perform the pendulum test in the CBR4 rendering because of its very low mechanical resistance (Fig. 4). The pendulum test rebound is not directly related with the level of compressive strength for all the renderings.

The results of the elasticity modulus of existing renderings are higher than the ones obtained in traditional lime renderings using the same test method (Velosa and Veiga 2012) showing low deformation capacity of the existing renderings; these ancient renderings show mechanical incompatibility with the rammed earth substrates because they have high levels of compressive strength and, in some cases, high values of the modulus of elasticity.

The ancient renderings have high contents of insoluble residue (average value is 88.3%) - meaning a low percentage of lime binder. The XRD and TGA tests show that ancient renderings have similar chemical composition: sand aggregates, lime and clay (illite and kaolinite) (Fig. 5); in most renderings, clay and lime have similar contents in the mixes; the volumetric ratio aggregates: binder is 6.2, a very high value when compared with traditional lime renderings.

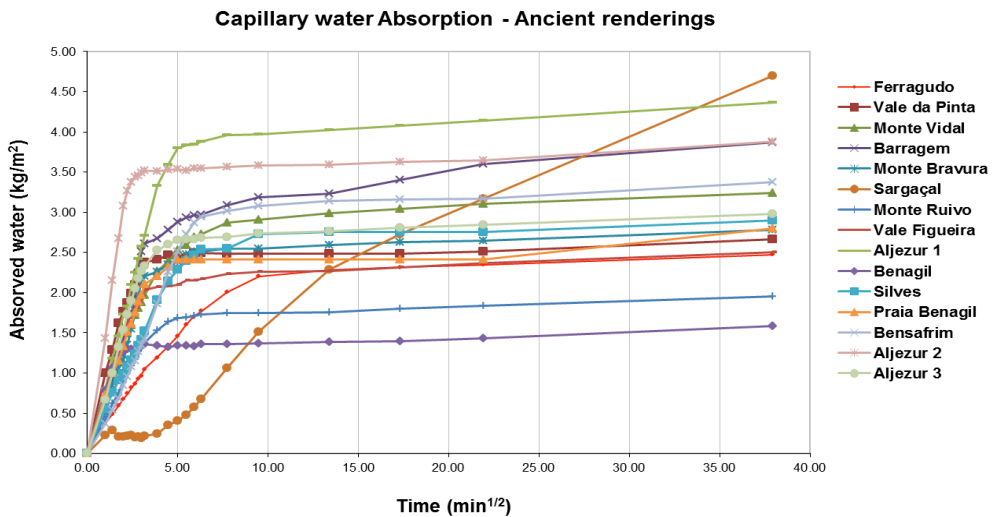


Figure 2. Capillarity water absorption of ancient renderings - laboratory test.

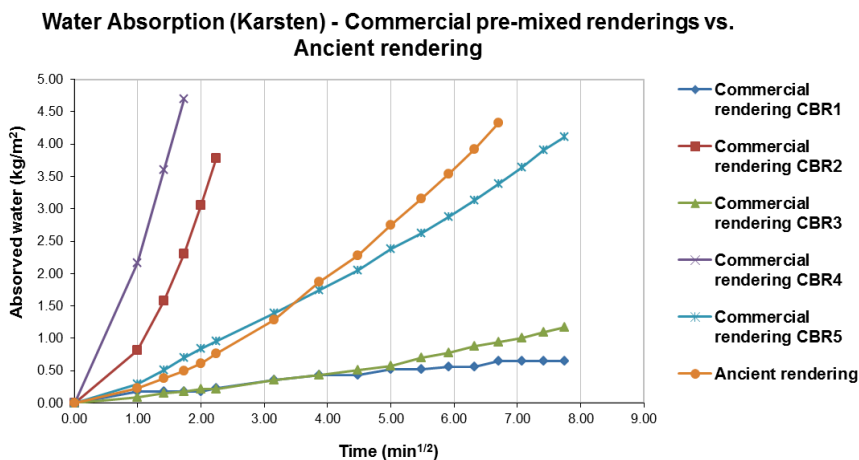


Figure 3. Water absorption of commercial renderings - in situ test (Karsten tubes).

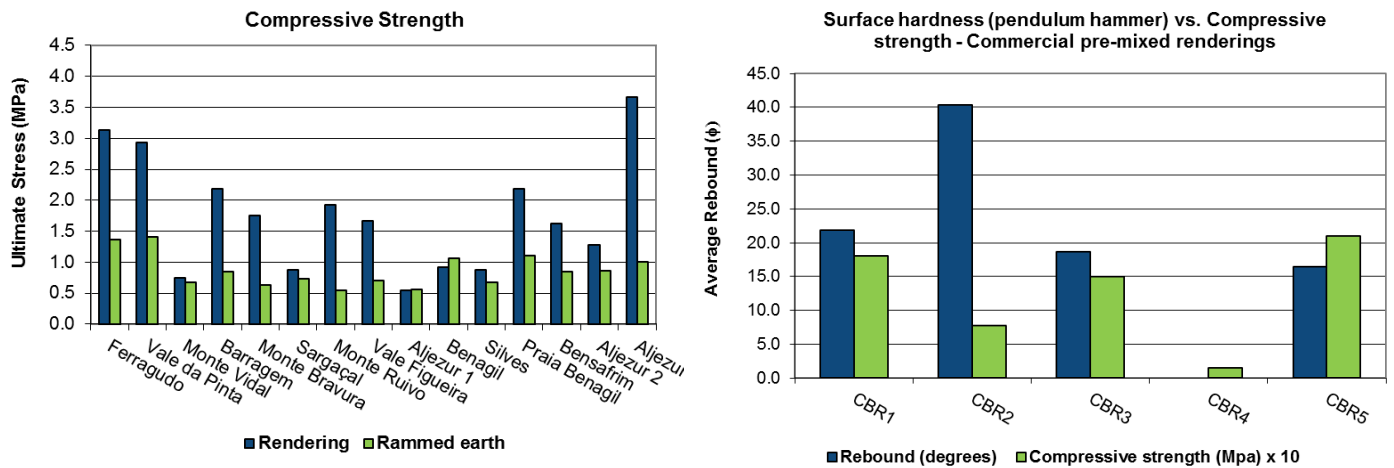


Figure 4. Mechanical strength evaluation of ancient renderings, substrates and commercial renderings.

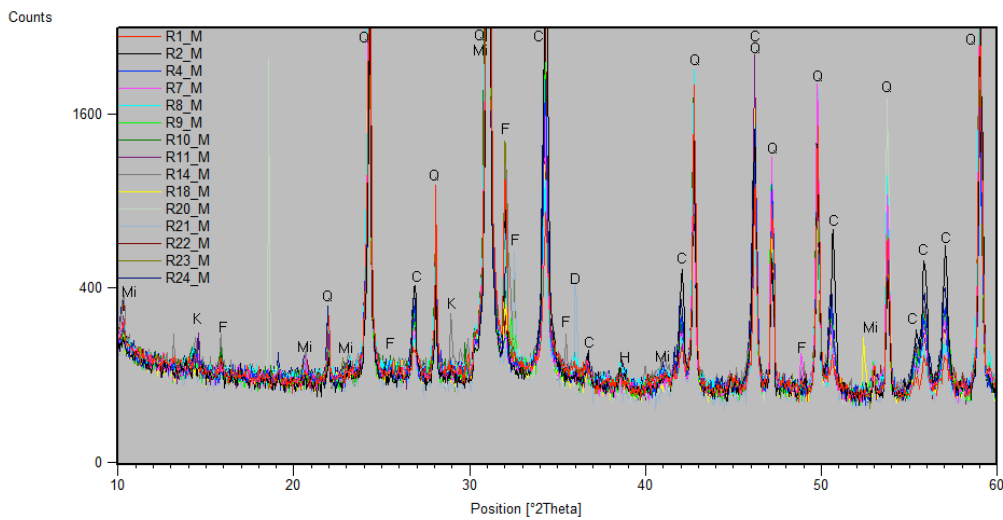


Figure 5. XRD (x-ray diffractometry) output for fifteen ancient renderings - laboratory test.

4. CONCLUSIONS

The present rebirth of rammed earth construction has various reasons, linked to the acknowledgement of its advantages in terms of traditional construction identity to be maintained. However, it also reveals some drawbacks, namely concerning its low resistance to earthquakes and susceptibility to water action. Tests performed in laboratory in the scope of this study revealed the existence of response patterns common to all the ancient renderings tested: they show mechanical incompatibility with the rammed earth substrates because of their higher values of compressive strength and elasticity modulus; they also reveal great susceptibility to water due to their high water absorption rates, lower drying processes, and high open porosity levels, causing higher water retention periods in contact with the earth substrate surface, promoting their degradation. Some commercial brand renderings - CBR 1 and CBR3 - show better characteristics than the ancient renderings regarding water absorption; however, these same two commercial renderings have higher compressive strength than most of the ancient renderings and much higher than the rammed earth substrate; these two renderings were also the hardest to apply on the rammed earth substrate, because they dry too fast during application, making it difficult to apply manually in large areas of wall surface. Three months after application, there were no relevant signs of

superficial cracking in pre-mixed commercial renderings. In the scope of this campaign, none of the pre-mixed renderings show an ideal performance, regarding all the features tested. Therefore, other tests must be carried out in laboratory to test and improve some of those features, particularly regarding water drying rate, deformation capacity and chemical composition. In that scope, pre-mixed lime and clay-based mixes should be tested. The Karsten tubes test revealed to be adequate and reliable for the purpose of this study. However, the pendulum test did not allow a safe correlation between the rebound level and the compressive strength for the five commercial pre-mixed renderings tested.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the support of LNEC - National Laboratory of Civil Engineering, especially the team from the Renderings and Insulations Group of the Buildings Department (Project PRESERVE - Preservation of the Cultural Heritage Coatings) and the team from the Metallic Materials Group of the Materials Department (Project PTDC/EPH-PAT/4684/2014 DB-HERITAGE - Database of building materials with historical and heritage interest). The authors also acknowledge the support of ICIST-CERIS (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção), IST (Instituto Superior Técnico), and the support of FCT - Foundation for Science and Technology, Ministry of Education, for providing the PhD scholarship, ref. SFRH/BD/102052/2014.

BIBLIOGRAPHY

- Binda, L. et al (2000). *Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries*, Construction and Building Materials 14, p 199-233.
- Magalhães, A. et Veiga, M. R. (2009). *Physical and mechanical characterization of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*, Materiales de Construcción 59 (295), p 61-77.
- Mateus L. et al (2014). *Characterization of external renderings of rammed earth constructions in the Algarve*, International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture, Valencia, Spain, p 245-249.
- RILEM Test No. I.1 - *Porosity accessible to water*, RILEM 25-PEM - Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Construction, 1980, Vol. 13, N° 75.
- RILEM Test No. I.2 - *Bulk densities and real densities*, RILEM 25-PEM - Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des 102 pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Construction, 1980, Vol. 13, N° 75.
- Silva, A. (2003). *Caracterização de argamassas antigas*, 3º Encore - Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios, LNEC, Portugal.
- Valek, J. et Veiga, M. R. (2005). *Characterization of mechanical properties of historic mortars*, STREMAH 2005 - 9th International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, 22 / 24 June 2005, Malta.
- Veiga, M. R. et al (2001). *Methodologies for characterization and repair of mortars of ancient buildings*, 3rd International Seminar Historical Constructions, Guimarães, Universidade do Minho, Portugal.
- Veiga, M. R. et al (2004). *Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results*, 13th International Masonry Conference, Amsterdam, Holland.
- Velosa, A. L. et Veiga, M. R. (2012). *Argamassas do Património Histórico: conhecer para conservar e reabilitar*, CIREA 2012 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, p 17-27.

AUTHORS BIOGRAPHICAL NOTICE

Luís Mateus:

Civil Engineer (IST- Instituto Superior Técnico, Lisbon University). MSc thesis on characterization of external renderings of rammed earth construction in western Algarve (IST). PhD student at IST, thesis “Development of pre-mixed external renderings for rammed earth constructions”. Partner of Monumenta Ltd. Considerable expertise in rehabilitating architectural heritage and ancient buildings.

Maria do Rosário Veiga:

Civil Engineer (IST - Instituto Superior Técnico, Lisbon University), PhD (FEUP - Faculdade de Engenharia, Porto University), Senior Researcher at LNEC - National Laboratory of Civil Engineering, Coordinator of the Coatings Laboratory of LNEC. She is the author or co-author of many scientific papers and technical publications.

Jorge de Brito:

Civil Engineer (IST - Instituto Superior Técnico, Lisbon University); MSc in Structural Engineering (IST) and PhD in Civil Engineering (IST). Full Professor at IST, in the area of Construction Technology, comprising earth construction. He has supervised many MSc and PhD students and has authored several hundred scientific papers.



Partial safety factors for earth block masonry

Philipp MÜLLER, Lorenzo MICCOLI, Patrick FONTANA, Christof ZIEGERT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY:

In the beginning of the 1980s earth building has undergone a renaissance, which nowadays leads to an increasing use of load-bearing earth constructions and in particular, earth block masonry. At present, there are no common structural standards according to the semi-probabilistic design concept, which is the state-of-the-art in European standards. A solid database is needed for the determination of the partial safety factor on the resistance side. Therefore, compressive strength tests were carried out with two types of earth blocks and two types of prefabricated earth mortar. The evaluation showed that the variation of the compressive strength was remarkably less than expected, which seems to indicate high quality standards of the components earth block and mortar with regard to industrial production.

On the basis of these results and together with the reliability method, a partial safety factor for earth block masonry subjected to compression was determined. The main aim of the research was the development of a first valid database for material parameters of earth block masonry with particular regard to statistical characteristics. The results showed that a common calculation method for earth block masonry based on partial safety factors following the valid masonry construction standard is feasible.

1. INTRODUCTION

The knowledge on the material properties and failure mechanisms of earth block masonry is limited and scattered when compared to the advances in research on conventional masonry (stone and brick masonry). Earth block masonry consists of earth blocks and mortar, usually an earth mortar. Nowadays earth blocks can have various forms and sizes with or without hollows. The manufacture of earth block masonry usually follows the same principles as those used for conventional masonry. Although earth block is a widely utilised building material since prehistoric times, it also represents a type of masonry block that yields the lowest strength values. The scatter of mechanical property values in the literature as shown in [1] can be large. This scatter is not only due to factors such as workmanship and weathering, but also to different testing procedures, for instance in the derivation of Young's modulus.

At the moment, there is no valid European standard or guideline for the design of earth block masonry. The introduction of DIN 18945 [2] and DIN 18946[3] as product standards for earth blocks respectively earth mortar in 2013 in Germany can be used as basis for the development of a semi-probabilistic design method based on partial safety factors. The semi-probabilistic design method or limit-state design is state-of-the-art in structural design and underlies all European structural design standards. Historically the designs of earth block masonry and conventional masonry were closely linked due to similar load bearing behaviour, failure mechanisms and workmanship. An adaption of future design of earth block masonry to existing European masonry standard EN 1996[4] is therefore logical and recommendable. The main purpose of the present study was a first calibration of safety elements on the resistance side assisted by testing.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

2.1 Materials

Earthen materials were sourced from local manufacturers of prefabricated earthen building products. Two types of earth block (3DF and NF, Fig. 1 a-b) and two types of earth mortar (M2 and M3) combined to four types of earth block masonry were tested under uniaxial compression. Earth block and mortar samples were prepared according to DIN 18945 [2] and DIN 18946 [3]. Earth block masonry wallettes were produced by laying six earthen block courses in accordance with EN 1052-1 [5]. Samples were built with pre-wetting of joint contact surfaces by submerging the blocks into water of 10 mm height for approx. 10 seconds. After production, all samples were stored in a climate room at 23°C and 50% relative humidity (RH) for drying. Samples were removed from the climate room shortly before compression tests.

2.2 Uniaxial compression tests

Compressive strength and Young's modulus of the earth blocks was determined on a 1 MN universal testing machine. For the measurement of displacement, linear variable differential transformers (LVDTs) were used. The compressive strength tests were carried out according to DIN 18945 [2]. Tests of mortar samples were performed on a 10 kN servo mechanical testing machine. Tests of masonry wallettes were performed using a 1 MN universal testing machine. Samples were tested under displacement control according to EN 1052-1[5]. The loading speed was adjusted in a way that the failure point was reached within 15–30 minutes. Deformations were monitored by LVDTs parallel and perpendicular to the loading direction on both sides of the wallettes (Fig. 1c-d).

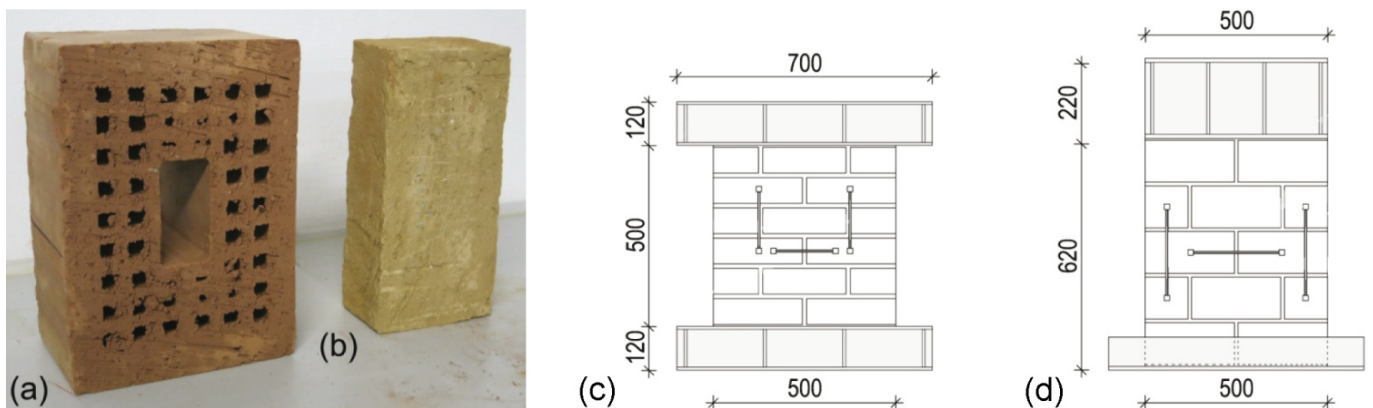


Fig. 1. Extruded hollow block 3DF (a) and solid block NF produced by a mechanised hand moulding procedure (b). Uniaxial compression tests: test setup for NF earth block masonry (c) and 3DF earth block masonry (d).

2.3 Test results

The deformation of the earth block samples was fairly high, which resulted in a relatively low Young's modulus of approx. 1000–1200 N/mm². However, the compressive strength of the earth blocks (3.6–5.6 N/mm²) was fairly high and showed a limited scatter in results. Mortar samples yielded a compressive strength of 3.3–3.8 N/mm². The mean and characteristic values of compressive strength and Young's modulus for earth block and earth mortar samples are listed in Table 1. For earth block masonry wallettes, strength

values are in the range of 2.0–3.7 N/mm². Ultimate vertical strain varied in the range of 0.4–0.6 %. On the longitudinal side of the samples, failure was visible by vertical cracks above and beneath the butt joints, and mortar spillings in the bed joints. The front side showed a cone-shaped failure pattern. Both are typical failure modes of masonry due to exceedance of the blocks tensile strength (Fig. 2). The stress-strain curves shown in Fig. 3, exhibit a linear development until approximately one third of the maximum compressive strength. Subsequently the curves indicate a slightly non-linear behaviour until the maximum strength and finally show a phase of post-peak strain softening. The failure mode under compression loading is rather brittle and the stress-strain behaviour is similar to conventional masonry. Table 2 lists the mean and characteristic values of compressive strength and Young's modulus for masonry wallettes. A more detailed description of the test methods, results and conclusions can be found here [6].

Table 1. Results of uniaxial compression tests of earth block and earth mortar samples (κ = smallest singular value; SD = standard deviation; COV = coefficient of variation in %).

Sample	width × height × thickness (mm)	Compressive strength (N/mm ²)				Compressive strength normalised (N/mm ²)				Young's modulus (N/mm ²)			n° of tests	
		Mean κ	SD	COV		Mean κ	SD	COV		Mean κ	SD	COV		
Earth block														
NF ^a	240 × 115 × 71	5.65	5.29	0.16	2.8	4.68	4.36	0.13	2.8	1051	828	155	14.7	13
NF ^b	120 × 115 × 142	4.47	4.28	0.11	2.5	-	-	-	-	1199	1067	76	6.3	13
3DF	240 × 175 × 115	3.58	3.40	0.10	2.8	-	-	-	-	998	816	114	11.4	15
Mortar														
M2	160 × 40 × 40	3.34	-	0.23	6.8	-	-	-	-	-	-	-	-	12
M3	160 × 40 × 40	3.78	-	0.16	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	24

^a entire block, ^b half block.

Table 2. Results of the uniaxial compression tests of earth block masonry samples (SD = standard deviation; COV = coefficient of variation in %).

Masonry sample	width × height × thickness (mm)	Compressive strength (N/mm ²)				Young's modulus (N/mm ²)			n° of tests
		Mean	SD	COV	5%-q	Mean	SD	COV	
MW_NF_M3	500 × 500 × 115	3.74	0.14	3.8	3.46	1221	204	16.7	10
MW_NF_M2	500 × 500 × 115	3.46	0.07	1.9	3.34	1367	179	13.1	10
MW_3DF_M3	500 × 620 × 175	1.99	0.09	4.5	1.82	783	101	12.9	10
MW_3DF_M2	500 × 620 × 175	2.02	0.15	7.3	1.74	899	137	15.2	10

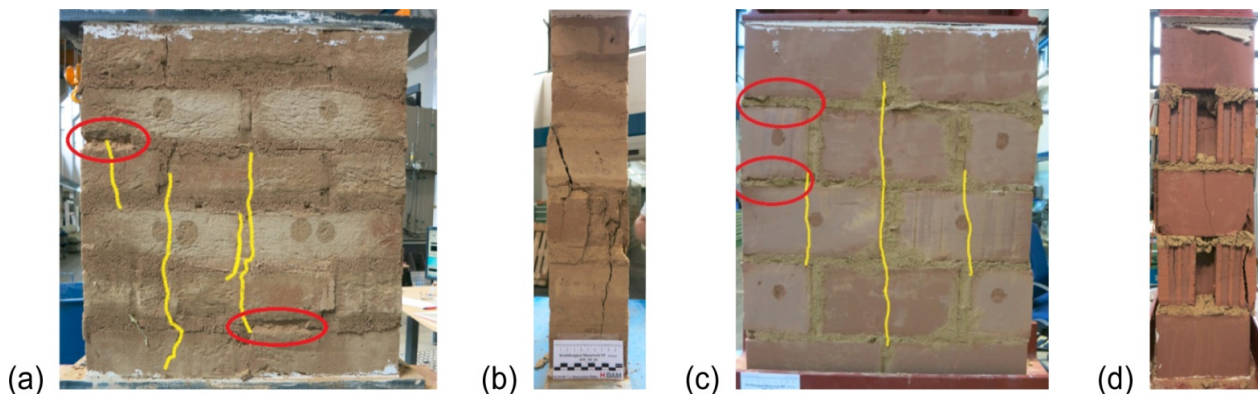


Fig. 2. NF earth block masonry (a-b) and 3DF earth block masonry (c-d) under uniaxial compression. Cracks are marked in yellowlines, spillings in red circles.

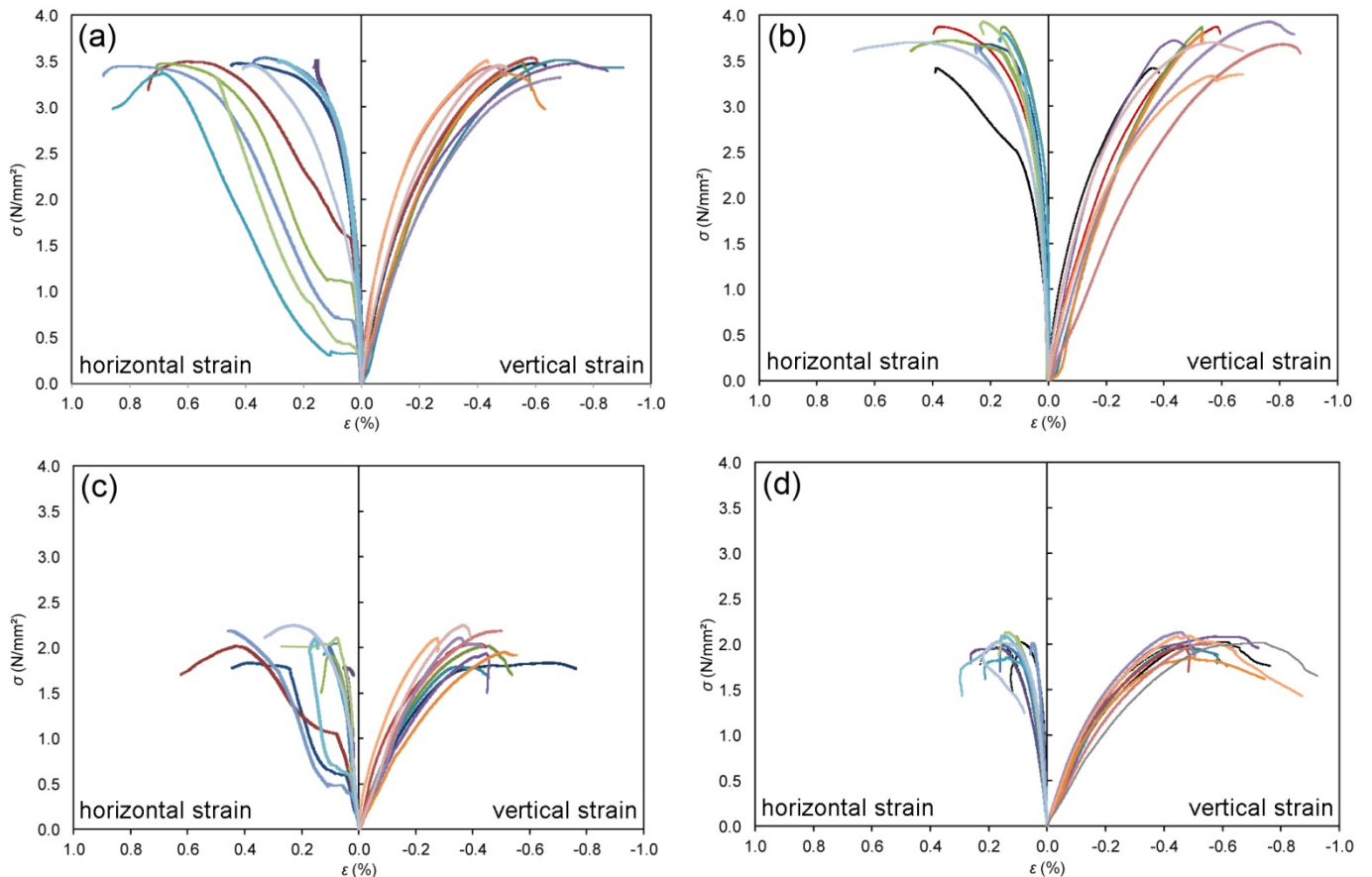


Fig. 3. Uniaxial compression stress–strain curves: solid block masonry MW_NF_M2 (a) and MW_NF_M3 (b); hollow block masonry MW_3DF_M2 (c) and MW_3DF_M3 (d).

2.4 Evaluation and comparison of results

The test results of the earth blocks and mortars show fairly low variations of the compressive strength. On the one hand this is based on the fact that only one charge of one manufacturer of blocks respectively mortar was tested but on the other hand this indicates high quality of industrial production. The development of product standards such as DIN 18945 [2] and DIN 18946 [3] can be considered as a main reason for this. The variation of the compressive strength of the wallettes is fairly low as well. As expected, the compressive strength of the solid block masonry is notably higher than the one of the hollow block masonry (Table 2). The compressive strength variation between the wallettes with different types of mortar is fairly slight. In general the experiments showed that the load-bearing behaviour and failure mechanisms of earth block masonry are similar to conventional masonry. Hence, mechanical models and design rules can be transferred.

3. PARTIAL SAFETY FACTOR

3.1 Calibration

The partial safety factor for earth block masonry under compression loading, based on the results obtained in this study and using the method of calibration, given in EN 1990 [7] is determined by the equation 1:

$$\gamma_R = \frac{R_k}{R_d} = \frac{m_R - k \cdot \sigma_R}{m_R - \alpha_R \cdot \beta \cdot \sigma_R} = \frac{1 - k \cdot COV_R}{1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot COV_R} \quad (1)$$

Where the fractile-factor k , the sensitivity factor on the resistance side α_R and the index of reliability β are given in EN 1990 [7]. Using a COV of 4.4% (mean value of the COV of the 4 testing series) the safety factor given is 1.1. This does certainly not reflect the realistic variability of earth block masonry made with blocks belonging to one compressive strength class. The COV will be higher when sample blocks are sourced from different batches and different manufacturers. Considering a realistic scatter of the bearing capacity the COV needs to be estimated. For masonry under centric uniaxial compression loading, the COV of the bearing capacity is estimated in the range of 20–25% [8]. The partial safety factor for a COV of 20% increases then to 1.6. The wide range of these values shows the sensitivity of the partial safety factor to the statistical characteristics, especially the stochastic variation of compressive strength. In the following paragraph the results will be discussed and a recommendation referring the partial safety factor will be given.

3.2 Discussion of the results

The applied method for the calibration of a partial safety factor in accordance with EN 1990 [7] represents a simple manner to determine safety elements in the field of construction. The partial safety factor on the resistance side thereby can be specified regardless of the design situation and the stochasticity within the action effects. Nowadays, most of the safety factors on the resistance side in the European standards are evaluated this way. A solid database providing bearing capacity and statistical characteristics is needed for an exact determination of safety elements. With regard to conventional masonry more than 2000 compressive strength tests were carried out to elaborate the allowable stresses and the safety elements [9]. No such database is existing for earth block masonry. On the basis of the presented test results and taking into account a realistic estimation of the COV of the bearing capacity of earth block masonry, a partial safety factor on resistance side under compression loading of 1.75 is recommended.

This recommended value should not be regarded as an absolute value but as an approximation of its range. The application of more exact methods, like iterative optimisation methods for a precise determination of the failure reliability, does not seem to be appropriate at the moment. More detailed data about the statistical characteristics of earth block masonry related to the earth blocks compressive strength classes is needed.

4. CONCLUSIONS AND OUTLOOK

This paper presents an analysis of the load-bearing behaviour and the statistical characteristics of earth block masonry under compression loading. A partial safety factor for the structural design of earth block masonry according to the masonry code EN 1996 [4] is recommended. The results provided reliable statistical characteristics referring the compressive strength of earth blocks, earth mortar and earth block masonry. The partial safety factor on the resistance side was determined based on these results and the reliability method.

The variability of the single components was fairly low, indicating high quality standards with regard to industrial production. With the masonry wallettes the post-peak strain

performance was determined, showing again fairly low variation of the bearing capacity, which was also due to the fact that only two types of earth block and two types of earth blocks were used.

The presented experiments provide a first valid database regarding the statistical characteristics of earth block masonry under compression loading. The load-bearing behaviour and the failure mechanisms are similar to conventional masonry. A realistic estimation of the COV leads to a partial safety factor in the range of the safety factors for conventional masonry. Future research will mainly focus on the development of a comprehensive database for earth block masonry. In this process different load conditions, like shear stress in and perpendicular to the panel plane and combined bending and compression load, need to be investigated. Furthermore, the influence of RH on the load-bearing behaviour of earth block masonry needs to be accurately assessed.

References

- [1] Miccoli, L., Garofano, A., Fontana, P. and Müller, U. (2015). *Experimental testing and finite element modelling of earth block masonry*, Engineering Structures, 104, p. 80-94.
- [2] DIN 18945. *Earth blocks – terms and definitions, requirements, test methods*, 2013.
- [3] DIN 18946. *Earth masonry mortar – terms and definitions, requirements, test methods*, 2013.
- [4] EN 1996-1-1: 2005 + A1: 2012: *Design of masonry structures – Part1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*. German version EN 1996-1-1: 2005 + A1: 2012.
- [5] EN 1052-1. *Methods of test for masonry – Part 1: Determination of compressive strength*, 1998.
- [6] Müller, P., Miccoli, L., Fontana, P. and Ziegert, C. (2017). *Development of partial safety factors for earth block masonry*. Materials and Structures, 50, p. 1-14.
- [7] EN 1990. *Basis of structural design*; German version EN 1990: 2002 + A1: 2005 + A1:2005/AC: 2010.
- [8] Glowienka, S. *Structural reliability of masonry walls made of large format blocks. Probabilistic analysis of large format masonry made of sand-lime stone and areated concrete with thin-bed-mortar (Zuverlässigkeit von Mauerwerkswänden aus groß formatigen Steinen. Probabilistische Analyse von großformatigem Mauerwerk aus Kalksandstein und Porenbeton mit Dünnbettvermörtelung)*, 1. Aufl, Selbstverl., Darmstadt, 2007.
- [9] Kirtschig, K. and Meyer, J. *Reports from the Institute of Materials Research and Testing of the University Hannover, Magazine 54. Evaluation of compressive strength tests of masonry for the determination of allowable stresses and characteristic bearing capacities. Part 1: Evaluation (Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, Heft 54. Auswertung von Mauerwerksversuchen zur Festlegung von zulässigen Spannungen und charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten. Teil 1: Auswertung)*, Eigenverlag, Hannover, 1987.

Biographical Notice:

Philipp Müller:

Philipp Müller is a Research Associate at the Singapore Centre of Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. He obtained his Master of Science in Civil Engineering with distinction from Technische Universität Berlin in 2014. Employee at Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung BAM and Ziegert | Seiler Ingenieure 2013 – 2015. His main research focuses on structural reliability of alternative construction materials.

Lorenzo Miccoli:

Lorenzo Miccoli is Research Associate at Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin. PhD in Building Engineering and Architecture at University of Rome 'Tor Vergata' in 2010. Visiting researcher at University of South Carolina, USA. Visiting scholar at Yangzhou University, China, in 2005. Visiting student at the Ecole d'Architecture de Paris La Villette, France in 2004. His main research focuses on material testing, dynamic and static analysis of historical buildings.

Patrick Fontana:

Patrick Fontana, PhD in Civil Engineering, is working for more than 15 years in the field of construction material science. Since 2012 he is active in research and standardization of earthen materials and constructions. He is currently chairing the German Committee for Testing, Inspection and Certification of Earthen Building Materials.

Christof Ziegert:

Christof Ziegert, PhD in Civil Engineering, Honorary Professor 'Building and Conservation with Earth' at FH Potsdam, managing director of Ziegert | Roswag | Seiler Architekten Ingenieure, Chairman of the German Earth Building standards committee, Board member of the Dachverband Lehm e.V., Board Member and Chair of Technology of ICOMOS ISCEAH.



Influence de la conception architecturale et du climat sur les transferts d'humidité dans une paroi

Bruno ANDRES, Philippe DEVILLERS, Eric DEFRENNE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'incidence de la conception architecturale et du climat sur les transferts de vapeur d'eau dans une paroi à ossature bois, isolation paille et enduits terre intérieur et extérieur. Les propriétés physiques de l'enduit terre extérieur doivent permettre d'assurer une protection efficace et durable vis-à-vis des intempéries tout en permettant une bonne respiration du mur grâce à leur bonne perméabilité à la diffusion de la vapeur d'eau. Bien que la paille soit un matériau qui pourrisse très lentement en raison de sa forte teneur en silice, un taux d'humidité limité dans la paroi est nécessaire afin de garantir son intégrité. L'humidité, comme dans toute construction est un véritable danger pour la construction en paille. Pour atteindre cet objectif, des essais en laboratoire ont été réalisés afin de déterminer les propriétés thermiques et hydriques des enduits terre. Des calculs de transferts couplés température/humidité à travers des parois verticales ont alors pu être réalisés avec le logiciel WUFI. L'analyse des résultats permet de donner des tendances sur l'influence de la conception architecturale et du climat sur les transferts d'humidité à travers les différents composants de la paroi.

INTRODUCTION

La société Jolie Terre implantée à Martignargues dans le sud de la France a développé depuis 2008 un mélange de terre crue à projeter fabriqué à partir de terre extraite d'une carrière près d'Uzès et de fibres végétales. Le procédé industriel utilisé, la projection permet une mise en œuvre économe en temps et en main d'œuvre. En extérieur, le mélange peut s'appliquer sur des ballots de paille en trois passes d'épaisseurs respectives de 3 cm (accroche), 1 cm (remplissage) et 1 cm (finition). En intérieur, le mélange s'applique en deux passes (épaisseur totale de 2 cm) sur une toile de verre accrochée sur le panneau OSB qui constitue la face intérieure du caisson contenant la paille. Une première étude thermique a permis de montrer que les enduits terre renforcent l'inertie thermique des constructions à ossature bois, ce qui permet de réduire de 1 à 2°C environ les températures maximales en journée. Les enduits terre ne compensent pas complètement les inconvénients de la construction bois en matière de confort thermique d'été, mais semblent incontournables pour limiter les surchauffes.

L'utilisation de matériaux biosourcés nécessite un taux d'humidité limité afin de ne pas générer une corrosion des organes d'assemblage, un développement de moisissures et pourritures. L'objectif de la présente étude est donc de mettre en évidence l'incidence de la conception architecturale et du climat sur les transferts de vapeur d'eau. Pour atteindre cet objectif, des calculs de transferts couplés température/humidité à travers des parois verticales ont été réalisés avec le logiciel WUFI développé par le Fraunhofer Institut Bauphysik de Holtzkirchen en Allemagne. L'analyse des résultats permettra de donner des tendances sur l'influence de la conception architecturale et du climat sur les transferts d'humidité à travers les différents composants de la paroi.

1 CADRE DE L'ETUDE

Afin de faire face au développement de son activité, la société IZUBA énergies a décidé de construire son siège et ses bureaux près de Montpellier, sur l'Ecoparc de Fabrègues (Fig. 1). Les travaux se sont déroulés en 2014. Les locaux sont occupés depuis début 2015. La réalisation du siège d'IZUBA énergies a été l'occasion de réaliser un bâtiment de

bureaux à très haute performance énergétique intégrant une démarche énergétique « négaWatt » avec ses trois volets (sobriété, efficacité et énergies renouvelables) et une approche globale intégrant le confort hygrothermique, l'énergie grise des composants, le comportement des usagers, la gestion des déchets, la qualité de l'air intérieur, le transport des salariés



Fig. 1 : photo du siège d'IZUBA énergies, Architecte Vincent Rigassi

L'impact environnemental de la fabrication des matériaux de construction et de leur traitement en fin de vie est rarement évalué et ne fait encore l'objet d'aucune contrainte réglementaire. Pourtant, tout comme l'utilisation du bâtiment, ces étapes occasionnent des consommations d'énergie (l'énergie grise), d'eau, l'épuisement des ressources naturelles et diverses pollutions. L'analyse du cycle de vie du bâtiment, de sa construction à sa fin de vie, montre bien que la contribution des matériaux est importante, d'autant plus que les consommations énergétiques pendant l'utilisation auront déjà été optimisées. Pour limiter l'impact environnemental de la fabrication des matériaux de construction et de leur traitement en fin de vie, le bâtiment privilégie les matériaux biosourcés, peu transformés et recyclables en fin de vie.

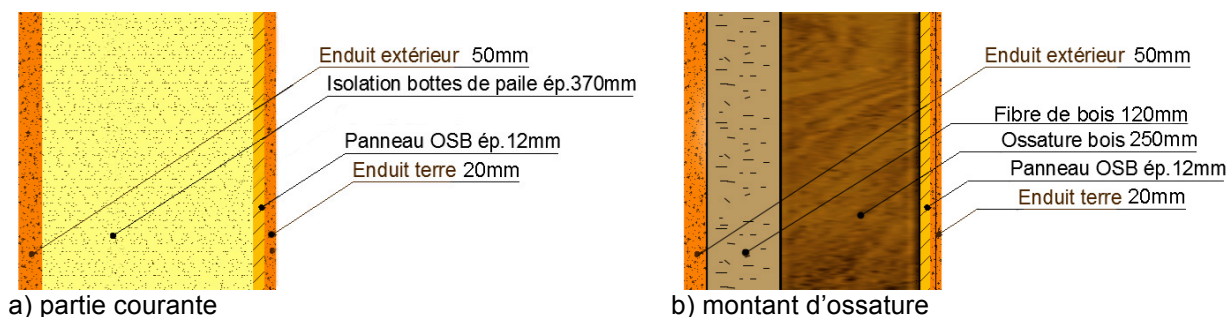


Fig. 2 : détail de la composition des murs extérieurs

La figure 2a donne la composition des murs périphériques en partie courante. Au niveau des montants de l'ossature bois, la composition des murs périphériques est nécessairement différente (Fig. 2b). Afin de couper le pont thermique devant les montants de l'ossature bois, un panneau d'isolation de fibres de bois est positionné. Ce panneau permet également d'assurer une continuité fibreuse afin d'accrocher l'enduit terre de manière homogène et éviter qu'il ne fissure.

Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés chauds, des hivers doux, un ensoleillement conséquent, un vent du nord très fréquent. Le climat de Montpellier est caractérisé par de fortes amplitudes thermiques journalières et des précipitations peu fréquentes mais intenses (614,9 mm par an) principalement au printemps et à l'automne. Ces fortes pluies sont très souvent associées à un vent important. La direction nord/ouest est celle des vents de pluie dominant.

Le climat intérieur choisi pour cette étude, est dérivé de la norme NF EN 15026 (2008). La température et l'humidité relative intérieure dépendent du climat extérieur. Les courbes

résultantes sont bornées car des comportements régulateurs qui permettent de maintenir une température et une humidité satisfaisante pour le confort sont pris en compte. Les températures sont comprises entre 20 et 25°C et l'humidité relative entre 30 et 60%. Les caractéristiques physiques du douglas, du panneau OSB et du panneau de fibres de bois nécessaires au calcul ont été extraites de la base de données matériaux du logiciel WUFI. Les caractéristiques physiques de la paille nécessaires au calcul sont extraites des travaux de Wihan (2007). Le peu de données disponibles dans la littérature sur les propriétés thermiques et hydriques de la terre nous a conduits à réaliser des mesures en laboratoire pour le besoin de la présente étude. De surcroît, le comportement thermo-hydrique de la terre est fortement dépendant de la terre utilisée (granulométrie, nature de l'argile) mais aussi de sa mise en œuvre (énergie de mise en place, teneur en eau à la construction, soin apporté au séchage). Le paragraphe suivant donne les résultats de ces essais et détaille les mécanismes de transport d'humidité dans un matériau poreux comme la terre.

2 MODELISATION DES TRANSFERTS HYGROTHERMIQUES

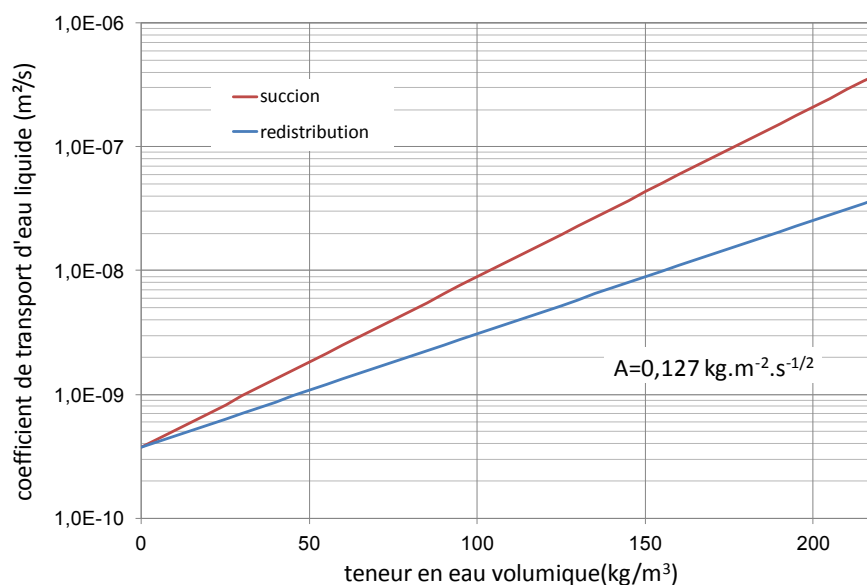


Fig. 3 : coefficient de transport d'eau liquide de l'enduit terre

Un matériau poreux en contact avec de l'eau va absorber cette eau jusqu'à ce qu'il atteigne sa teneur en eau de saturation libre w_f . Des poches d'air se retrouvent emprisonnées dans le réseau poreux ce qui fait que la teneur en eau de saturation libre w_f est inférieure à la teneur en eau maximale w_{max} déterminée par la porosité. Des mesures ont été réalisées sur des prismes d'enduit terre, de côté 15 cm et d'épaisseur 4 cm, extraits d'échantillons de grande taille réalisés sur des panneaux OSB. Pour l'enduit terre, la teneur en eau de saturation libre est de $171,1 \text{ kg/m}^3$ alors que la teneur en eau maximale est de $670,3 \text{ kg/m}^3$. La teneur en eau de saturation libre correspond à la fonction de stockage d'humidité à une humidité relative de 100%. Dans un matériau poreux comme la terre en contact avec de l'eau, le mécanisme prépondérant de transport d'humidité est le transport d'eau par capillarité qui est prédominant dans les plus gros capillaires, puisque leurs plus faible tension capillaire est plus que compensée par leur faible résistance à l'écoulement. Le coefficient de transport d'eau liquide D_{ws} est généralement fortement dépendant de la teneur en eau (Fig. 3). Ce coefficient décrit l'ascension capillaire de l'eau quand la surface d'imbibition est complètement mouillée. Dans le contexte de la physique des bâtiments cela correspond à la pluie sur une façade.

La relation suivante permet de déterminer D_{ws} en fonction du coefficient d'absorption capillaire A :

$$D_{ws} = 3,8 \left(\frac{A}{w_f} \right)^2 1000^{\frac{w}{w_f} - 1} \quad (1)$$

Dans un matériau hygroscopique comme la terre, pour des humidités relatives inférieures à 60 %, l'eau des pores condense ou s'évapore jusqu'à ce que la pression de vapeur saturante sous les surfaces d'eau courbées des petits pores soit en équilibre avec l'humidité relative de l'air des pores. Pour des humidités relatives inférieures à 60%, le mécanisme prépondérant de transfert d'humidité est la diffusion de la vapeur d'eau. Dans un matériau de construction comme la terre, la diffusion de la vapeur d'eau s'effectue dans l'air des pores. La diffusion est alors empêchée par la réduction de l'accès de la section droite, les effets de l'adsorption des parois des pores et la tortuosité du réseau poreux. La valeur du facteur de résistance à la diffusion μ représente le rapport des coefficients de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air et dans la terre. Pour des matériaux très perméables comme la botte de paille, la valeur de μ est donc très proche de 1, tandis qu'elle augmente pour des matériaux avec une plus grande résistance à la diffusion comme l'enduit terre. Pour une couche de matériau d'épaisseur e et de facteur de résistance à la diffusion μ , le produit μe donne la valeur de S_d qui exprime l'épaisseur de la lame d'air de même résistance à la diffusion de vapeur d'eau. Les cinq essais réalisés à la coupelle sèche (23°C - 0→50 %) sur des échantillons d'épaisseur moyenne 14,67 mm donnent un S_d de $0,138 \pm 0,016$ m pour les enduits terre.

Pour des humidités relatives supérieures à 60 % (condensation capillaire) les pores contiennent non seulement de l'eau liée par adsorption mais aussi de l'eau liquide non liée. Les deux mécanismes de transfert d'humidité sont alors présents. En conditions isothermes, la fonction de stockage d'humidité d'un matériau donne donc la teneur en eau que le matériau atteint à une humidité relative donnée (Fig. 4). La fonction de stockage d'humidité s'obtient par les isothermes de sorption pour des humidités relatives inférieures à 95% et par des mesures à la plaque de pression pour des humidités relatives supérieures à 95 % (Devillers et al. 1998). Sur la figure 4, les points carrés correspondent à des données expérimentales obtenues sur l'enduit terre. Des prismes d'enduit terre préalablement séchés à l'étuve à 105°C ont été placés dans des dessiccateurs (Fig. 5) contenant des solutions salines saturées ($MgCl_2$, $MgNO_3$, $NaCl$, K_2SO_4) assurant différentes humidités relatives (35%, 56,3%, 78,6%, 97%). Le principe de l'étude expérimentale est de réaliser des pesées successives et régulières pour établir les cinétiques d'adsorption. L'équilibre est considéré comme atteint lorsque la variation de masse entre deux pesées successives effectuées à 24 heures d'intervalle est inférieure à 0,1% de la masse totale. Les teneurs en eau à l'équilibre en fonction de l'humidité relative permettent alors de tracer l'isotherme d'adsorption (Fig.4).

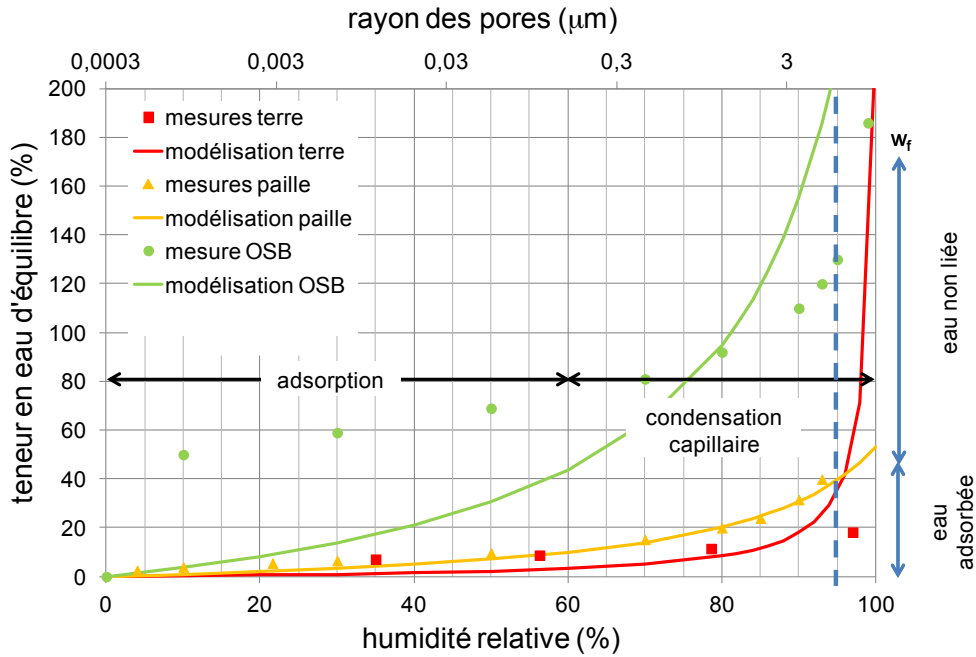


Fig. 4 : fonction stockage d'humidité des différents matériaux



Fig. 5 : banc de dessiccateurs

L'isotherme d'adsorption de l'enduit terre montre que lorsqu'on passe d'une humidité relative de 97% à l'état saturé, la teneur en eau est multipliée par neuf (Fig.4). Pour des humidités relatives inférieures à 80%, les variations de teneur en eau en fonction de l'humidité relative sont faibles. On constate donc que les transferts d'eau dans l'enduit terre seront importants lorsque l'humidité relative sera comprise entre 97% et 100%.

Expérimentalement, on constate que la relation entre la teneur en eau et l'humidité relative n'est pas biunivoque. La relation dépend non seulement du régime auquel est soumise la terre (drainage, humidification), mais aussi de l'historique des cycles de drainage humidification. Dans cette étude, l'hystérésis entre l'isotherme d'adsorption et l'isotherme de désorption ne sera pas prise en compte : on considérera une relation biunivoque entre la teneur en eau d'équilibre et l'humidité relative obtenue à partir de l'isotherme d'adsorption. De plus, la fonction stockage d'humidité sera supposée indépendante de la température. Des mesures réalisées par Salager et al. (2010) sur un sable limoneux argileux ont montré une variation de la teneur en eau de 1% pour une augmentation de température de 50°C. La fonction de stockage d'humidité peut alors être correctement décrite pour de nombreux matériaux par la fonction :

$$w(HR) = w_f \frac{(b-1)HR}{b-HR} \quad (2)$$

Où b est le facteur d'approximation. Néanmoins, cette modélisation ne fonctionne pas pour tous les matériaux comme le montre le panneau OSB sur la figure 4. Cela peut s'expliquer par le fait que le bois ou les matériaux dérivés du bois adsorbent déjà une grande quantité d'eau dans le domaine hygroscopique ($HR < 20\%$). Physiquement, cela correspond à des molécules d'eau qui sont fortement liées aux groupements hydroxyle de la cellulose par des liaisons hydrogènes.

Le couplage hygrothermique est exprimé par les équations de transfert hygrothermique de Künzle (1995) qui sont à la base du logiciel WUFI. Dans ces équations, les termes de stockage sont situés à gauche et les termes de transports à droite. La première équation représente le bilan de chaleur et la deuxième représente le bilan de masse d'eau. Ces équations couplées sont les suivantes :

$$\rho_0 \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L_v \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu}{\delta_{air}} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (HR \cdot p_{sat}) \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial HR} \cdot \frac{\partial HR}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left((D_{ws} \cdot \frac{\partial HR}{\partial x}) \right) + \frac{\mu}{\delta_{air}} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (HR \cdot p_{sat}) \quad (4)$$

Où ρ_0 est la masse volumique apparente sèche en kg/m^3 , c la capacité calorifique massique en $\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, T la température en K, t le temps en s, λ la conductivité thermique en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, L_v la chaleur latente de changement de phase en J.kg^{-1} , δ_{air} le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air en $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$, μ le facteur de résistance à la diffusion, HR l'humidité relative, p_{sat} la pression de vapeur saturante en Pa, w la teneur en eau volumique en kg/m^3 et, D_{ws} la conductivité hydraulique en $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. La figure 6 donne les valeurs des propriétés hygrothermiques des différents matériaux utilisés pour réaliser les simulations numériques.

	ρ_0 kg/m^3	ϵ -	c $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	λ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	μ -	w_f kg/m^3	A $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-0,5}$
OSB	615	0,9	1500	0,13	175	636	-
Paille	100	0,9	2000	0,09	2	53	-
Douglas	510	0,73	1600	0,13	50	575	-
Panneau fibre de bois	155	0,981	2000	0,042	3	980	-
Terre	1368	0,49	1096	0,35	9,5	171,13	0,127

Fig. 6 : propriétés hygrothermiques des différents matériaux

Afin de déterminer l'influence du climat sur les transferts d'humidité au sein de la paroi, deux autres climats extérieurs ont été testés, un climat océanique (Ostende) et un climat tempéré froid et humide (Saint John's). La ville d'Ostende est située en bordure de la mer du nord. Le climat y est chaud et tempéré. Le climat d'Ostende a été choisi parce que la pluviométrie annuelle est identique à celle de Montpellier mais répartie de manière complètement différente : les précipitations y sont très fréquentes. La paroi sera donc soumise à une humidification très fréquente sur des périodes significatives sans permettre forcément le séchage complet avant une nouvelle période d'humidification. La ville de Saint John's est située à une latitude comparable à celle de certaines villes françaises, mais les températures y sont inférieures de 7 à 8°C à cause des eaux froides du courant du Labrador qui baignent la côte orientale de Terre-Neuve (température moyenne sur l'année 4,7°C). Les précipitations sont abondantes toute l'année (1481,3 mm par an), l'hiver étant la saison la plus arrosée. Le nombre moyen par mois de jours avec

précipitations est de 18,25. Le climat de Saint John's a été choisi car il constitue un cas extrême, pour lequel le risque de condensation de la vapeur d'eau dans la paille sera très important.

3 RESULTATS

La paroi étudiée est orientée nord-ouest car il s'agit de l'orientation la plus défavorable par rapport aux vents de pluie dominant et à l'exposition au soleil. Vis-à-vis de la pluie le bâtiment étudié est un bâtiment de faible hauteur (<10m), abrité grâce aux coursives et dont la toiture est faiblement inclinée. Les conditions initiales choisies sont les conditions par défaut proposées par le logiciel soit une humidité relative de 80 % dans toutes les couches. Les résultats des simulations numériques montrent que le séchage global du mur s'opère par l'intérieur (Fig. 7). On observe un régime transitoire pendant les 18 premiers mois qui correspond à un séchage global du mur. L'enduit extérieur est soumis au climat extérieur par les fluctuations saisonnières, son temps de séchage est d'environ 6 mois. Le temps de séchage de l'enduit intérieur est quant-à lui de trois semaines, ses fluctuations d'humidité sont beaucoup plus faibles.

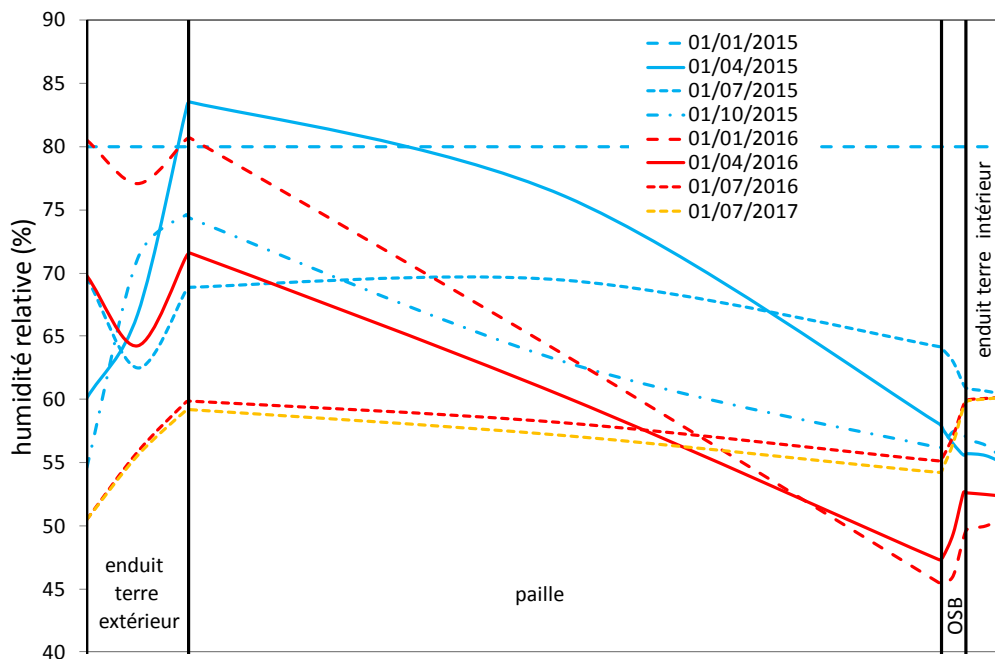


Fig. 7 : humidité relative après deux mois de séchage

Pour chacune des solutions constructives étudiées (Fig. 8) l'interprétation des résultats est basée sur le critère suivant : le niveau pas de risque correspond au cas où l'humidité relative dans les matériaux biosourcés ne dépassera 85 % qu'occasionnellement (moins de 8 semaines par an). Ce critère est un critère reconnu pour les matériaux biosourcés (CSTB 2011). Le niveau « risque maîtrisable » correspond à des cas qui dans un premier temps ne remplissent pas les conditions du niveau « pas de risque » mais qui avec des aménagements pourraient rentrer dans la catégorie « pas de risque ». Le niveau « risque permanent » ne remplit pas les conditions des deux niveaux précédents. Les résultats montrent qu'un freine-vapeur ou un pare-vapeur a un effet régulateur sur la teneur en eau de la paille pendant le printemps. Le pare-vapeur est plus efficace que le freine-vapeur. Dans le cas d'un ruissellement, il y a un risque très élevé de moisissures. Dans le cas d'Ostende le risque de moisissures est très élevé mais il peut être contrôlé à l'aide d'un pare-vapeur. Par contre, dans le cas de Saint John's le risque est trop élevé tout au long

de l'année avec un risque de condensation de la vapeur d'eau dans la paille. Les analyses des simulations numériques des différents cas étudiés sont résumées sur la figure 8 qui donne pour chaque situation le niveau de risque pour la paroi.

Situation	Niveau de risque
Mur abrité en climat méditerranéen	pas de risque
Mur abrité au niveau du montant en climat méditerranéen	pas de risque
Mur soumis au ruissellement en climat méditerranéen	risque permanent
Mur abrité en climat méditerranéen sans panneau OSB	pas de risque
Mur abrité avec pare-vapeur en climat méditerranéen	pas de risque
Mur abrité en climat méditerranéen avec panneau OSB inversé	risque permanent
Mur abrité en climat humide	risque maîtrisable
Mur abrité en climat humide et froid	risque permanent

Fig. 8 : résultats des simulations numériques

CONCLUSION

Nous observons que le projet tel qu'il a été conçu par l'architecte présente des dispositions constructives qui permettent de garantir la durabilité des matériaux biosourcés utilisés pour réaliser l'enveloppe : les murs sont protégés par une coursière et un débord de toiture ; l'utilisation d'un panneau OSB de contreventement, coté intérieur, fait office de freine-vapeur. Les caractéristiques hygrothermiques des enduits terre permettent d'assurer une protection efficace et durable vis-à-vis des intempéries tout en permettant la respiration du mur grâce à leur bonne perméabilité à la diffusion de vapeur d'eau. En effet, la composition d'enveloppe n'intégrant pas de pare-vapeur, la respiration naturelle du mur doit permettre d'éviter les problèmes de condensation de la vapeur d'eau dans le ballot de paille.

Si le bon sens et l'expérience permettent de répondre à un grand nombre de problèmes, les simulations numériques permettent d'intégrer une plus grande complexité de situations. Cet article montre dans quelles mesures l'utilisation d'un outil numérique peut constituer un outil d'aide à la décision pour l'architecte en l'aidant dans ces choix de conception.

BIBLIOGRAPHIE

- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. (2011). *Etude hygrométrique de l'influence de plusieurs paramètres dans des parois à ossature bois*, rapport de synthèse, Champs-sur-Marne.
- Devillers, P., El Youssoufi, M.S. et Saix C. (1998). *Transfert d'eau dans les sols à faibles teneur en eau*, 16^{ème} Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, France, 20-26 août 1998.
- Künzel, H.M. (1995). *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*, IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- NF EN 15026 (2008). *Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Évaluation du transfert d'humidité par simulation numérique*.
- Salager, S., El Youssoufi, M.S., & Saix, C. (2010). Effect of temperature on water retention phenomena in deformable soils: theoretical and experimental aspects. *European Journal of Soil Science* n°61, pp 97-107.
- Wihan, J. (2007). *Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw*, PhD thesis of University of East London School of Computing and Technology.

BIOGRAPHIE

Bruno Andres, Ingénieur de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Architecte DE. Il est actuellement responsable de l'unité Aménagement Durable Uzège – Pont du Gard au sein du Service Aménagement Territorial du Gard Rhodanien de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Gard.

Philippe Devillers, Normalien, Professeur agrégé de génie civil, Docteur de l'Université de Montpellier en mécanique des matériaux et des structures. Il est actuellement enseignant chercheur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier.

Eric Defrenne, Ingénieur de l'école nationale supérieure d'ingénieurs en informatique automatique mécanique énergétique électronique. Il est actuellement gérant de la société Jolie Terre dont il est le créateur et président de l'ONG Yamana experte en responsabilités sociétales de l'entreprise dont il est également le fondateur.



Impact of local additives on properties of earthen plasters

Matthieu PEDERGNANA, Soofia ELIAS-OZKAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Earth is the oldest building material but it has often been replaced by more weather resistant materials. Recent researches have shown that this material has interesting properties in term of humidity, temperature and pollution control as well as a low environmental impact and compatibility with other natural building materials. Interest is growing in using traditional and/or modern local and natural stabilizers to increase the resistance of the material to water and yet to preserve its interesting properties as natural wall protection. However, properties of earth products differ according to the type of earth and type of stabilizers.

As a part of an on-going research, mechanical and surface properties and water resistance of stabilized earth plasters have been determined to understand the impact of different stabilizers on the durability of the plasters. Impact of sand, wheat chaff, egg-white, hay juice or molasses have been compared and suitability of additives for the selected earth decided.

Chaff, molasses, hay-juice and egg-white have shown interesting properties to increase both strength or water resistance of the material. Addition of sand or chaff has shown a decrease in density and shrinkage, but also in mechanical strength.

INTRODUCTION

Earth is one of the oldest and most widespread construction material and traces of earthen plasters have been identified in Turkey dating back to the beginning of earth construction; while it is still used in some villages despite a loss in knowledge. (Seeher, 2007) Natural builders are looking forward for such solutions because of its environmental benefits and use of local resources. (Melià, Ruggieri, Sabbadini, & Dotelli, 2014) Recent researches have also shown that earthen plasters can enhance the comfort of a building through the reduction of interior air pollution (Darling et al., 2012) and the control of temperature and moisture level.

However, because of its low strength and weather resistance, earth plaster are not recommended for exterior usages despite claims of weather resistant earth plasters made by some professionals (Magwood, 2014). For this reason, research focuses on stabilizing earth mortar through the addition of chaff, organic or mineral binders, biopolymers or geo-materials. Few promising results have been achieved with natural stabilizers but number of biopolymers used traditionally have never been researched. (Anger, Fontaine, Gandreau, Bourgès, & Joffroy, 2012)

As a part of a larger research focusing on understanding the impact of some additives on the properties of plasters and their suitability for straw-bale construction, the present work present the preliminary results obtained with a local earth and 5 types of local stabilizers. To assess the impact of the stabilizers, 19 mixes were prepared with different amount of stabilizers and tested following international procedures. Results of mechanical resistance, water absorption and resistance and surface cohesion tests of hardened plasters are presented here and impact of additives is discussed.

1. MATERIALS AND METHODS

The materials used for the plasters – earth and stabilizers – are coming from the surroundings of Yozgat (Turkey) and methods used to determine the properties of plasters are the ones described in the international literature.

1.1 Materials

All the mortars were formulated with the same clayey earth coming from a traditional quarry used for mud-bricks and plasters production in Şahmuratlı village (Yozgat area). The earth was manually extracted and was crushed mechanically. The particle size distribution of the earth was analysed by dry and wet sieving and hydrometer test. This earth is classified as Sandy Clay (UCS soil classification) and contains 33.5% of clay, 21% of silt and 34.5% of sand. Air dried and 2mm sieved earth was used for the formulation of plasters.

5 types of stabilizers – 2 fillers: sand (Sa) and chaff (Ch), and 3 additives: molasses (Mo), hay juice (Hj) and egg-white (Egg) – were selected.

Sand is a traditional filler used to reduce the proportion of binder in the mix and therefore reduce the shrinkage (Emiroğlu, Yalama, & Erdoğdu, 2015). Dried and 2mm sieved river sand has been used.

Chaff is a traditional fibre used against cracks and shrinkage in earth construction in Turkey (Seeher, 2007). Wheat chaff has been collected from the village after harvest and sun-dried during 1 month. Maximum fibres length was 3 cm.

Molasses, as a residue of sugar production from sugar beet is considered as a waste but have been studied successfully for mud brick production. (Vilane, 2010). It is also believed that large quantity of molasses has been used in Ottoman repair mortars. Molasses has been collected in viscous form from a local sugar factory.

Decomposed hay or straw are used by straw-bale builders or traditional Japanese earth masons by using the fermented juice of hay and other organic components (Rijven, 2009) or keeping the humid mix of straw and earth for months. Juice coming from 3 month of decomposition of local grass have been used.

Egg-white are believed to have been used in traditional Ottoman earth mortar but no traces of it have been discovered yet. Fresh eggs were used.

1.2 Method

Production methods and test procedures reported by Faria, dos Santos, & Aubert (2015), Rojat, Myriam, Ali, & Didier (2014) and Bourgès, Anger, Fontaine, & Joffroy (2012) as well as international standards – German Standard on earth plasters and Turkish Standard on mud-brick production – were followed or adapted as described in the following sections.

1.2.1 Mortars formulation and preparation; fresh state characterization

19 mortars were formulated with different proportions of stabilizers. Each mortar was formulated with one stabilizer. A non-stabilized mortar was taken as reference (REF). The formulations are summarized in the Table 1.

Mortars were produced manually following traditional method: i.e. first dry components were mixed together and then water was added to proper consistency. The mixes were let to settle for one day and more water was added if necessary. The quantity of water necessary was determined according to workability of the mixture. Consistency and fresh bulk density were measured according to the DIN 18947.

To imitate the distribution of fibres in mortars and its application on walls, large 4 cm thick slabs (4x24x20 cm) were prepared and left to set in their moulds for 7 days. After removing the moulds and left to dry for at least 3 weeks; the slabs were then cut into small samples of desired dimensions for testing. (Rojat et al., 2014)

Table 1: Composition and fresh state properties of plasters

name	REF	Sa050	Sa100	Sa200	Sa300	Ch05	Ch10	Ch20	Ch30	Ch40	Ch50	Mo05	Mo10	Mo15	Hj05	Hj10	Egg0.5	Egg1	Egg2
stabilizers	none	river sand				Chaff						Molasses			Hay juice		Egg-white		
amount of stabilizer		% of total earth volume*				% of total earth volume **									liter/liter of dry soil		egg/liter of water***		
		50	100	200	300	5	10	20	30	40	50				0.01	0.05	0.5	1	2
total of dry mass (%)		38.6	56.6	72.7	79.7	0.6	1.1	1.6	2.4	3.9	5.7	5.0	10.0	15.0	1.0	4.2	0.6	1.0	2.0
slump test (cm)	17.1	16.9	17.2	17.0	16.9	16.3	16.1	15.0	15.0	15.1	14.9	12.5	12.5	13.8	17.0	17.5	15.0	14.9	14.9
bulk density (kg/m ³)	1783	1897	1950	1997	2030	1757	1743	1710		1603					1770	1763			

* average density of sand = 1475kg/m³

* average density of straw = 65kg/m³

** average mass of egg white = 62g

1.2.2 Hardened state characterization

Shrinkage was calculated after measurement of the large samples (Faria et al., 2015).

Density was calculated on the same samples after removal of 2cm of each side to avoid concentration or lacks materials possible in the corners.

Flexural and compressive strength were measured for dry (ambient) and humidity saturated state (after 3 weeks of humidity exposure at 95%RH) on 4x4x16cm prisms.

Surface cracks have been identified and pictures of each dry sample have been take.

Cracks development has been assessed visually before removal of the samples' edges.

Surface cohesion was determined with the peeling test described by Faria et al.(2015).

Surface water capillarity was assessed by pressing a water saturated sponge for 90s on the central surface of the sample (Vandevoorde et al., 2009).

The resistance to water was determined according to the redundant Turkish standard for mud-bricks (Turkish Standard Institute, 1977). Specimens of 4x4cm section were suspended up to 5 cm depth in water and the duration for destruction was noted.

2. RESULTS

2.1 Physical properties of plasters

The characterization of dry samples shows that the impact of stabilizers on shrinkage and density is unequal and depending on the type of stabilizer. (Fig. 1)

All shrinkage values are high due to the clayey nature of the earth (REF: 7.5% of shrinkage) except the samples stabilized with a large amount of filler. Usage of filler lessen the proportion of clay in the mix so reduces the shrinkage. Usage of molasses also reduces the shrinkage probably because of the large amount of material used – about 10% of the volume of dry earth for Mo15 – whereas hay-juice and egg-white create a more cohesive material and therefore more shrinkage occurs.

As expected, the different additives and the sand used have no effect on the density of mortars – in fact they lead to a slight increase probably due to the high shrinkage or higher density of the stabilizer – only the usage of chaff allows a decrease of density due to the high volume of rough incompressible low density material added.

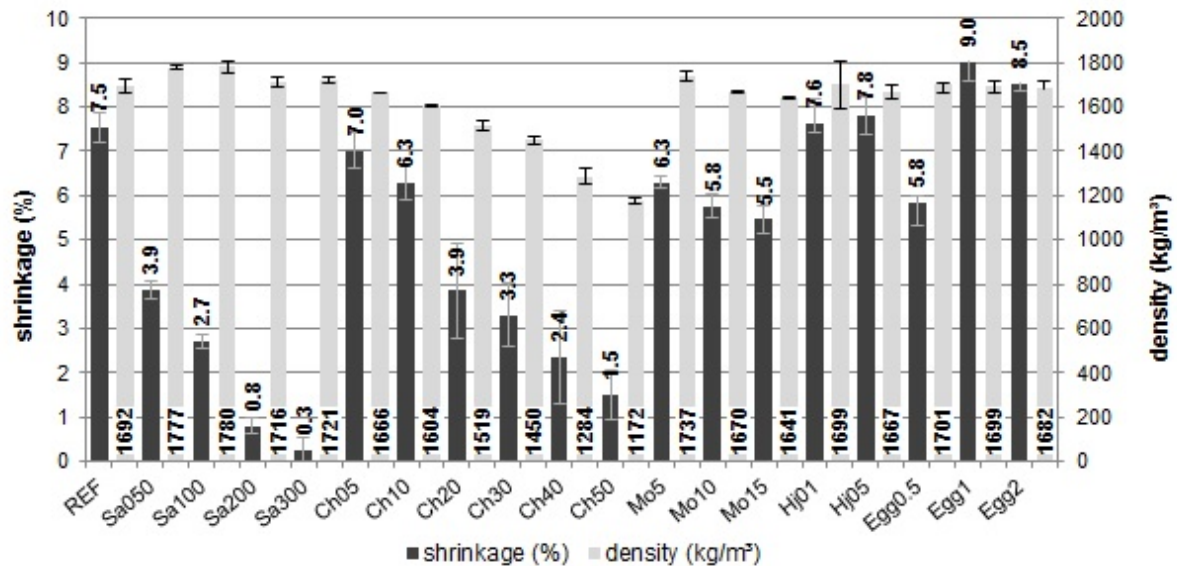


Figure 1: Average shrinkage and density of plasters samples

2.2. Mechanical properties of plasters

The Figure 2 summarizes the mechanical properties of hardened plasters. In air dry conditions the flexural and compressive strengths of the reference plaster are 1.26 MPa and 5.40 MPa respectively. But with stabilizers, these values are at least 0.49 MPa and 1.08 MPa respectively which are acceptable (DIN18947). As expected, saturated strength is lower than dry strength – 50% lower on average - except for chaff reinforced plasters which have a saturated strength of 80% of the dry strength.

Specific behaviour of chaff and molasses reinforced plasters are presented on Figure 3. Addition of chaff has a high impact on strengths. It decreases the compressive strength of plasters by up to 77% (for Ch50) and increases the flexural strength to a maximum of 1.64MPa (30% for Ch10).%. However, higher content of chaff reduces the flexural strength but not its ductility. Moreover, saturated strength of chaff-mortar stays high (70% to 90% of dry strength) even with a high humidity content (from 3 to 4.3)

Addition of low proportion of molasses allow a slight increase in the mechanical strength– with a peak between 5% and 10% - buta too high quantity reduces the mechanical strength, especially the compressive strength. Molasses doesn't have an impact on humidity saturated plasters.

Addition of sand has the most adverse effect on strength. Even in small amount it decreases both flexuraland compressive strengths of the plasters especially when they are humidity saturated (50% to 70% less strength than dry samples).

Addition of hay juice allows an increase in the flexural strength of plasters (28% to 37%) but slightly reduces its compressive strength. Humidity saturated strength of hay-juice reinforced plasters is in the same as non-stabilized plasters.

Addition of egg-white increase the flexural strength (from 2% to 31%) but has a negative impact on the compressive strength (reduction from 3% to 6%). The additive has a low impact on the saturated strength of plasters.

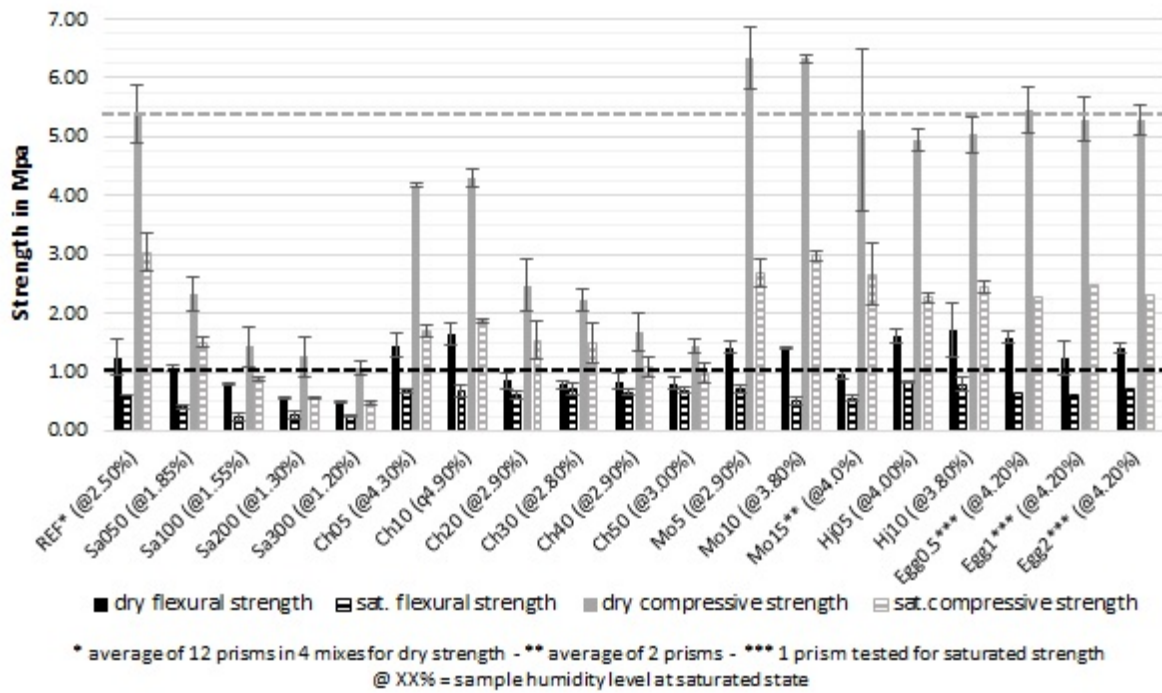


Figure 2: Average mechanical strength in dry and humidity saturated state

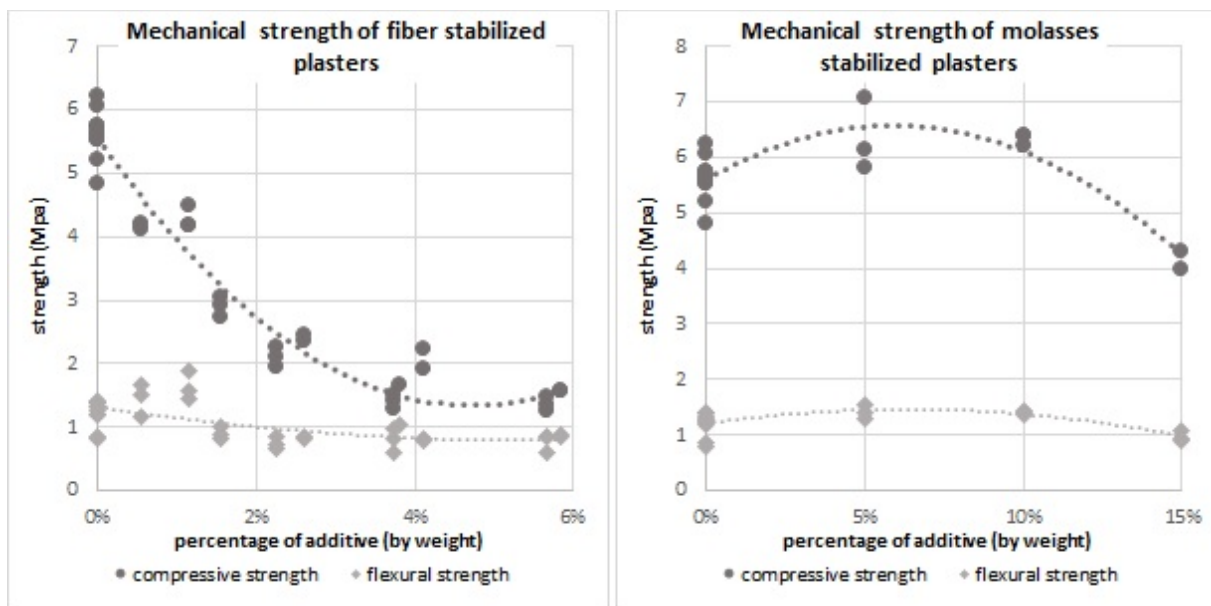


Figure 3: Mechanical strength of fiber stabilized and molasses stabilized plasters

2.3 Water resistance of plasters

Water resistance of plaster is given in Table 2: Surface properties and Water resistance together with the surface properties. The impact of stabilizers is very different; from 1 minute (Sa200 or Sa300) to more than 48 hours resistance (Cha50 or Mo10) where as the non-stabilized plaster has a resistance to water of 25 min.

Sand has a very high negative impact on the water resistance, even in low quantity - Sa050 has only 5 min resistance in water – and plasters stabilized with a higher quantity present no resistance at all.

Increasing the amount of chaff allows the plasters to be very resistant to water –from 30 min (Ch05) to more than 48h (Ch50) – with almost no impact on the sample integrity after 45min except raising capillarity and softening of the material.

Molasses and hay juice seems to have both the same impact with a low capillarity raise in the samples and a low destruction rate according to the amount of stabilizer. Molasses as a stabilizer is more efficient than hay juice with a resistance to water varying between 3h and 48h.

Addition of egg-whites has a low impact on the water resistance compare to other additives – probably because of the low quantity added – but allows a higher resistance to water than non-stabilized plasters.

Table 2: surface properties and water related properties of plasters

	REF	Sa050	Sa100	Sa200	Sa300	Ch05	Ch10	Ch20	Ch30	Ch40	Ch50	Mo5	Mo10	Mo15	HJ05	HJ10	Egg0.5	Egg1	Egg2
surface cohesion (pulled-off material in mg)	6.3	6.8	8.5	23	47	34	44	24	24	49	34	8.3	6.7	1	5	4	6	8	19
surface cohesion (0-10 scale)	1	1	1	2	2	2	1	4	4	5	3	1	2	1	1	1	2	2	2
surface cracks (0-10 scale)	4	3	2	0	0	3	2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
water absorption (g/m ² .s)	14.2	18.6	25.2	31.2	31.5	10.5	11.2	17.4	23.2	24.0	21.6	4.0	3.2	2.3	6.7	3.5	9.8	10.6	9.5
water resistance (h:mm)	0:25	0:05	0:02	0:01	0:01	0:30	1:00	1:30	2:30	24	48	3:05	48	—	0:45	1:05	2:40	3:10	5:30

2.4 Surface properties of plasters

Surface cracks, surface cohesion and surface capillarity absorption have been summarized in Table 2. From this table, it can be seen that each additive has specific impact on the different properties.

2.4.1: Surface cracks

From the comparison of the pictures, it appears that molasses, egg-white and hay-juice have the higher impact on the reduction of surface cracks. A high quantity of chaff or sand is also reducing the surface cracks but lead to the appearance of an uneven surface with visible particles and several micro-cracks around the chaff.

2.4.2: Surface cohesion

The results of the surface cohesion test (quantitative and qualitative) show that molasses and hay-juice have a high impact on the reduction of peeling and dusting of the surface. Addition of sand or chaff increases the amount of particles sticking to the tape whereas other additives seem to have none or low effect on it.

2.4.3: Surface capillarity absorption

Addition of both sand and chaff increases the surface capillarity of plasters. Increasing the amount of sand increases the capillarity of the mortar – from 18.63g/m².s to 31.51g/m².s for Sa050 and Sa300 respectively. Conversely, adding a small amount of chaff reduces the capillarity – 10.49g/m².s and 11.19g/m².s for Ch05 and Ch10 – but a higher amount of chaff increases the capillarity above the reference level.

Addition of additives decreases the surface absorption of the plaster, especially molasses (from 2.30 g/m².sto 4.00 g/m².s) and hay-juice.

3. DISCUSSION

Impacts of each additive on the different properties of plaster are summarized in the Table 3 and discussed in the following sections.

Table 3: Summary of stabilizer impacts

		shrinkage	density	compressive strength	flexural strength	surface cracks	surface cohesion (dust loss)	water resistance	water absorption
fillers	sand	- to ---	+	--	-	--	= to +++	--	+
	chaff	- to ---	- to ---	--	-	= to --	++	+ to +++	- to +
additives	molasse	-	=	+	=	-	--	+++	--
	hay juice	=	=	=	+	-	-	=	-
	egg-white	+	+	=	=	--	= to +	+	-

= : no impact

- : decrease

+: increase

--- : high decrease

+++ : large increase

3.1 Impact of fillers and additives

As expected, addition of sand and chaff even with small proportion largely reduces shrinkage and surface cracks and reduces the surface cohesion. Water capillarity absorption is also increased by the addition of fillers. However, their effect on other properties differs. Mechanical strength, water resistance and surface cohesion are reduced by sand stabilization whereas mechanical strength seems to reach an optimum with addition of small amounts of chaff ($\approx 10\%$). Water resistance is increased with increasing amount of chaff (48h for Ch50%).

Addition of molasses is providing a high water resistance, surface cohesion and low water absorption together with high mechanical strength in both dry and saturated states in accordance to Vilane's (2010) results but have a low impact on the shrinkage. However, its appropriateness for plaster should be further studied since mould is likely to appear during the production or high humidity exposure periods.

The impacts of hay-juice are similar to the ones of molasses but at a lower scale. Hay-juice also has a higher impact on increasing the flexural strength of mortar, probably due to the presence of small chaff, cellulose and lignin which bind together the clay particles (as studied by Vissac, Fontaine, & Anger, 2013).

The impact of egg-white is limited on the increase of water resistance (at a low level) and the reduction of surface cracks. The phenomenon of water repellence as described by Anger et al. (2012) is not fully observed.

Hay-juice and egg-white were used in low quantity – compared to molasses – and increasing their concentration may lead to higher impacts.

3.2 Impact of additives on water resistance

Molasses and chaff present a high water resistance. Molasses prevents any capillarity action and prevents the clay particles from separating either by binding them together and covering them with a hydrophobic membrane (Anger, Fontaine, Gandreau, Bourges, & Joffroy, 2012). The chaff stabilized samples have high capillarity absorption as well as high

resistance to water like molasses samples. Despite erosion on the edges, the resistance to disintegration is due to the random distribution of chaff.

3.3 Suitable additives for the selected earth

The selected earth exhibits high shrinkage (7.5%) and low water resistance (25 min) but high cohesive properties characterized by its high mechanical strength and surface resistance. The results show that only Ch40 and Ch50 mixes are appropriate for plasters according to the standards (DIN 18947 and TS 2514). Other stabilized plasters do not present sufficient strength, water resistance or shrinkage reduction.

CONCLUSION

This study shows the impact of stabilizers on different properties of earth plasters. It shows that the usage of only 1 type of additive is not enough to create an appropriate plaster since the additives only slightly impact the mechanical strength and shrinkage. As additive, molasses has the higher beneficial impact whereas chaff is the most suitable material to create water resistant and low shrinkage plasters. Understanding the mechanisms of stabilization at the microscopic level and the working mechanisms of the different biopolymers present in the additives may help to choose the most suitable formulation. Creating a combination of different layers of plasters or combining different stabilizers in one formulation may be convenient solutions, taking advantage of the properties of each of them. However, compatibility between the layers and the wall material in term of humidity transfer and expansion should be taken into account. More work is also necessary to determine the impact of other local additives – traditional or modern – and especially on the long-term resistance of plasters in real weather conditions. Suitability of additives should be assessed on real walls surfaces since they largely differ from laboratory conditions. Comparison of the impact of additives on different type of earth is also a necessity since each local soil may exhibit a different behaviour due to its mineral composition.

REFERENCES

- Anger, R., Fontaine, L., Gandreau, D., Bourgès, A., and Joffroy, T. (2012). Earthen surfaces stabilization with biopolymers: traditional recipes and literature review, *Proceedings of Terra 2012*
- Bourgès, A., Anger, R., Fontaine, L., and Joffroy, T. (2012). Monitoring methods and tools adapted to evaluate properties of earthen surfaces, *Proceedings of Terra 2012*
- Darling, E. K., Cros, C. J., Wargocki, P., Kolarik, J., Morrison, G. C., and Corsi, R. L. (2012). Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements. *Building and Environment*, 57, p. 370–376.
- Emiroğlu, M., Yalama, A., and Erdoğan, Y. (2015). Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios. *Applied Clay Science*, 115, p. 221-229
- Faria, P., dos Santos, T., and Aubert, J.-E. (2015). Experimental Characterization of an Earth Eco-Efficient Plastering Mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(1).
- German Institute for Normalization (2013). Earth plasters - Terms and definitions, requirements, test methods (in German), DIN 18947 (2013), Germany.
- Magwood, C. (2014). How Clay Plaster might save the world, *The Last Straw*, 65, p.32–36.

- Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., and Dotelli, G. (2014). Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters, *Journal of Cleaner Production*, 80, 179–186.
- Rijven, T. (2009). *Entre Terre et Paille*. Goutte de Sable.
- Rojat, F., Myriam, O., Ali, M., & Didier, M. (2014). Caractérisation mécanique des enduits en terre crue fibrée, *Proceedings of ECOBAT Sciences & Techniques*, p. 93–108 (French)
- Seeher, J. (2007). *A Mudbrick City Wall at Hattusa* (1st ed.), Ege Yayinlari, Istanbul.
- Turkish Standard Institute (1977). TS 2514-Mud Brick Making and Using (in Turkish)
- Vandevorde, D., Pamplona, M., Schalm, O., Vanhellefont, Y., Cnudde, V., and Verhaeven, E. (2009). Contact sponge method: Performance of a promising tool for measuring the initial water absorption, *Journal of Cultural Heritage*, 10(1), p. 41–47.
- Vilane, B. R. T. (2010). Assessment of stabilisation of adobes by confined compression tests. *Biosystems Engineering*, 106(4), p. 551–558.
- Vissac, A., Fontaine, L., and Anger, R. (2013). *Projet □: PaTerre + Rapport final*.

BIOGRAPHY

Matthieu Pedergrana is PhD candidate at METU Building Science Department. After experimenting alternative building construction, he started his PhD research on resistant earth plasters for straw-bale construction. He is also researching in the “Kerkenes Eco-Center” and teaching on natural building methods in workshops in Turkey.

Prof. Dr. Soofia Elias-Ozkan teaches at METU and is the co-director of “Kerkenes Eco-Center”. Her researches focusses on issues related to sustainability, i.e. appropriate materials and technologies, energy efficiency, bioclimatic architecture, reuse and recycling buildings and materials and building performance simulations



Hygrothermal properties of extruded earth bricks

Pascal MAILLARD, Jean-Emmanuel AUBERT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

This article focuses on the study of hygrothermal properties of five extruded earth bricks produced by several French brickworks. The thermal conductivity, the water vapor permeability and sorption kinetics underline the highly anisotropic behavior of the bricks directly linked to the extrusion direction during the manufacturing process. The results confirm that the extrusion process has a major influence on the orientation of clay platelets and impacts the hygrothermal properties. The brick manufacturers could take advantage of these results to improve the hydrothermal performances of the walls by adapting the laying of the bricks and the geometry considering the extrusion direction.

INTRODUCTION

Earth is one of the oldest building materials still use [1]. The interest in traditional earth constructions, as rammed earth, adobe or compressed earth bricks, has grown in Europe since a few years; among other qualities, earth is a material having a low environmental impact and a good capacity for the hygrothermal regulation inside a building. With the recent keen interest in sustainable development, earthen construction shave become attractive and Frenchbrick manufacturers produce more and more extruded earth bricks widening their product range. One of the advantages of the extrusion process is that it enables fast production of large quantities of homogeneous bricks that are similar in shape and size. As it was observed or fired clay bricks, an alignment of the clay particles occurs during this process because of the frictions with the die [2-4]. Relatively few publications focus on extruded earth bricks and a majority of them deals with their mechanical properties [2,5-10]. Therefore, this article focuses on the hygrothermal properties of extruded earth bricks by measuring their thermal conductivity, their water vapor permeability and their water vapor sorption.

1. MATERIALS AND PROCEDURES

1.1. Materials

For this study, the five bricks tested (referenced B1 to B5) were produced by different French brick works. They are used for interior partition walls (Fig 1). In the case of extruded earth bricks, the soil mixed with water to approximately the plastic limit of the soil is extruded under a vacuum through a machined die. This produces a stiff column of clay, that is subsequently cut into single bricks. The dimensions, the dry densities and the clay content are summarized in the Table1.

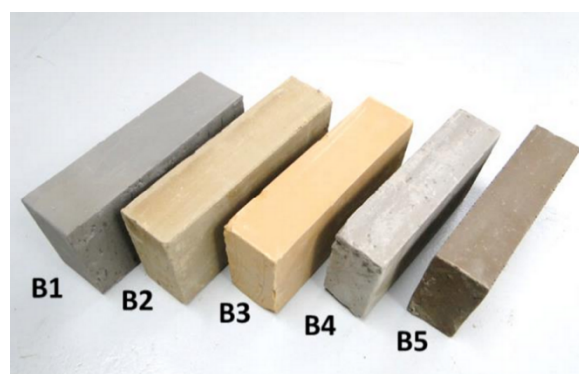


Fig.1: The five unfired clay bricks tested [9].

Table 1: Dimensions, dry density and clay content of the unfired clay bricks

Unit code	Length (cm)	Width (cm)	Height (cm)	ρ (kg/m ³)	<2,5 μm (%)
B1	22.5	10.5	6.0	1940	39.8
B2	22.5	11.3	5.4	2020	55.2
B3	22.0	11.1	5.4	2030	33.4
B4	21.6	10.6	5.0	2050	58.3
B5	21.5	10.5	5.0	2020	47.7

For these five bricks, the directions of extrusion are not the same: B2, B4 and B5 were extruded in lengthwise sense; B1 and B3 were extruded height wise. During this process, the clay platelets orientated themselves in the direction of extrusion and two directions can be considered: the perpendicular direction (D_{\perp}) and the parallel direction (D_{\parallel}) (Fig.2). This phenomenon, little studied in the literature, is well known by brick manufacturers in fired clay bricks.

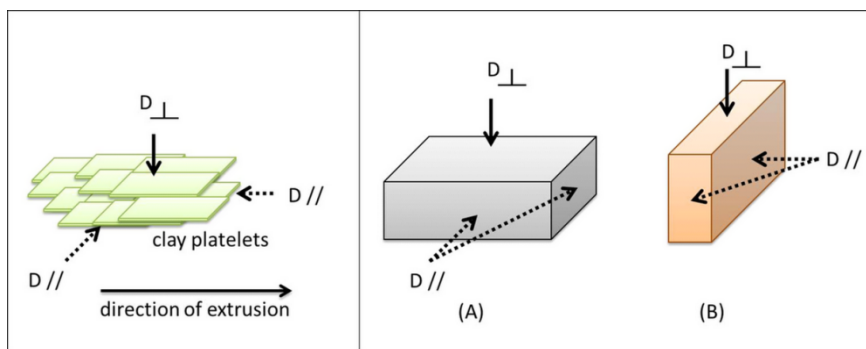


Fig. 2: Direction of extrusion for the bricks B2, B4, B5 (A) and the bricks B1, B3 (B) [9].

1.2. Procedures

1.2.1. Preparation of the samples

For the thermal conductivity and the water vapor permeability, cylindrical samples ($\varnothing = 50$ mm, thickness = 10 mm) were cored directly into the brick, without water, on two sides depending on the clay layer orientation: perpendicular (D_{\perp}) and parallel (D_{\parallel}). Each face of the samples was rectified using a grinding machine to obtain a plane surface.

1.2.2. Thermal conductivity

Thermal conductivity measurements of the samples were carried out using the heat flow meter method according to ISO 8301 with a Lasercomp Fox 50 at 30°C (with a "hot" plate at 40°C and the "cold" plate at 20°C) [11]. Samples were previously dried at 105°C for 48h.

1.2.3. Water vapor permeability

To determine the water vapor factor resistance (μ), water vapor permeability tests were carried out following standard EN ISO 12572 [12]. Tests were run at 23°C; the "dry" cup conditions were 0% RH inside the cup containing a salt, CaCl_2 , and 50% RH inside the climatic chamber where the samples sealed on the cup were placed.

1.2.4. Water vapor sorption isotherm

The water vapor sorption measurements were performed according to the standard EN ISO 12571 [13]. For each reference, two cubes of 50 mm were cut from the brick and then dried at 105 ° C during 48 hours. Then, four of the faces of each cube are coated with a

mixture of wax and paraffin as follows: for the cubes (D_{perp}), the two free faces are perpendicular to the direction of extrusion; for the cubes (D_{para}), the two free faces are parallel to the direction of extrusion. The cubes were weighed before and after the deposition of the wax/paraffin mixture. The cubes are placed in a climatic chamber at 23°C and 40% RH until a constant weight was obtained. The relative humidity (RH) was varied in steps at 60, 80, and 95% RH. The samples were weighed regularly to determine the weight evolution curves as a function of the time. The relative humidity of the climatic chamber was changed when the weight of samples became constant. To obtain the desorption curves, the same procedure was followed with decreasing levels of relative humidity from 95 to 40% RH. The moisture content of each samples, denoted θ , was determined from the mass curve recorded which was calculated at each equilibrium step of humidity following the equation: $\theta = 100 \times (\text{humid mass} - \text{dry mass})/\text{dry mass}$.

2. RESULTS AND DISCUSSION

2.1. Thermal conductivity

The Table 2 shows the thermal conductivities of the earth bricks measured in two directions ($\lambda_{D_{\text{perp}}}$ and $\lambda_{D_{\text{para}}}$). The values are the average of three samples and the anisotropy ratio is obtained by dividing $\lambda_{D_{\text{para}}}$ by $\lambda_{D_{\text{perp}}}$.

Table 2: Thermal conductivity of unfired clay bricks (average of 3 samples).

Unit code	$\lambda_{D_{\perp}}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	$\lambda_{D_{\parallel}}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Ratio $\lambda_{D_{\parallel}} / \lambda_{D_{\perp}}$
B1	0.66 ± 0.05	1.10 ± 0.02	1.67
B2	0.66 ± 0.06	0.93 ± 0.05	1.41
B3	0.69 ± 0.04	1.24 ± 0.02	1.80
B4	0.57 ± 0.08	0.86 ± 0.08	1.51
B5	0.62 ± 0.04	0.72 ± 0.04	1.16

The thermal conductivity values differed depending on the sample D_{para} or D_{perp} . For all the bricks, the values D_{perp} are lower than that the samples D_{para} , and the anisotropy ratio being scattered from 1.2 (B5) and 1.8 (B3). As shown by Laurent [14], the density is one of the main physical parameter that affects the thermal conductivity: in our study, the densities of the five bricks were the same that is coherent with the low variations observed on the values of thermal conductivities. The significant difference of the thermal conductivity values between the samples D_{perp} and the samples D_{para} shows that extruded earth brick can be considered as an anisotropic material. As explained earlier, during the extrusion process, the clay layers oriented themselves following the direction of extrusion. The thermal properties were thus dependent on the direction considered (perpendicular or parallel to the orientation of clay platelets). In the perpendicular direction, the clay particles inhibit the heat flow and the thermal conductivity is thus lower. On the contrary, in the parallel direction, the heat flow is favored by the orientation of clay platelets and the thermal conductivity is higher.

2.2. Water vapor factor resistance

The water vapor factor resistance values are summarized in the Table 3 (each value is the average of 5 samples). The more this factor is high, the more the vapor permeability is low, contrary to thermal conductivity, the anisotropic ratio was calculated by dividing $\mu_{D_{\text{perp}}} / \mu_{D_{\text{para}}}$ to compare the ratios between them.

Table 3: Water vapor factor resistance of the extruded earth bricks.

Unit code	$\mu_{D_{\perp}}$	$\mu_{D_{\parallel}}$	Ratio $\mu_{D_{\perp}} / \mu_{D_{\parallel}}$
B1	24.0 ± 2.1	16.0 ± 0.9	1.50
B2	44.0 ± 4.1	23.1 ± 1.6	1.90
B3	19.0 ± 0.9	10.6 ± 0.2	1.79
B4	32.6 ± 3.5	18.8 ± 1.3	1.73
B5	21.8 ± 2.4	16.6 ± 1.3	1.31

As shown with the thermal conductivity, there is a significant difference between the samples D_{perp} and D_{para} . For all the bricks, the values of the samples D_{para} are lower. As previously, the anisotropy ratios are scattered, but there is no direct correlation with the thermal conductivity ratios except for the reference B5 which had the two lowest ratios. The values obtained are close to those measured by Cagnonet al. On extruded bricks; their "drycup" values ranged between 7 and 19 without taking into account the anisotropy and underlined a high vapor permeability for these materials too [8].

2.3. Water vapor sorption isothermand kinetic of sorption

The water vapor sorption measurements have shown that, at equilibrium, the difference between the samples D_{perp} and D_{para} is weak. Thus, only the results obtained with the sample D_{perp} are presented on the Figure 3. The highest moisture contents (θ) are attributed to the bricks B2, B4 and B5 which contain the higher amount of fine particles (<2 μm), respectively 55, 58 and 47 %. These results underline that the earth bricks have a high potential for the hydric regulation in a building.

The values of the moisture content reached at equilibrium are comparable but the kinetics of sorption are different between the samples D_{perp} and D_{para} which reveal again an anisotropic behavior especially marked for B2 and B4, the two references having a high amount of fine particles (>50%) (Figure 4). During the sorption phase, a significant difference was observed progressively at each step between both samples D_{perp} and D_{para} particularly at the last stage at 95% RH. For the sample D_{para} , the moisture content (θ) increased faster than that of the sample D_{perp} . During the desorption phase, the moisture of the sample D_{para} decreased more quickly and the stabilization was reached before that of the sample D_{perp} . Moreover the gap between the both curves is more marked than during the desorption phase indicating the different behavior of the water vapor flow linked to the microstructure of the brick. As observed with the water vapor permeability test, parallel to the orientation of the clay platelets (i.e. to the direction of extrusion), the water vapor flows more easily. However, once equilibrium is reached, the samples D_{perp} and D_{para} contain the same amount of water.

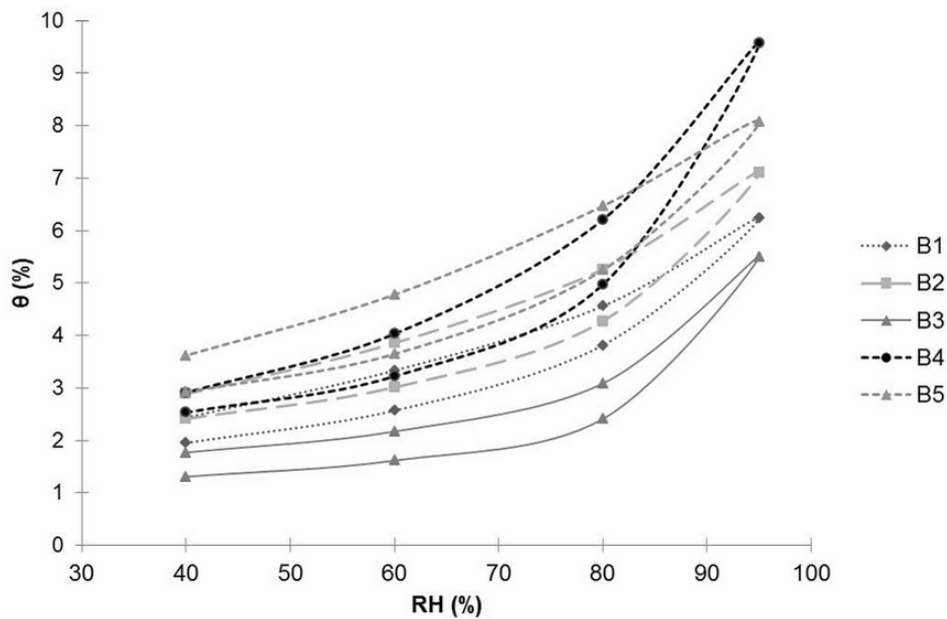


Fig. 3: Sorption and desorption curves of the unfired clay brick (*Dperp*) at 23°C.

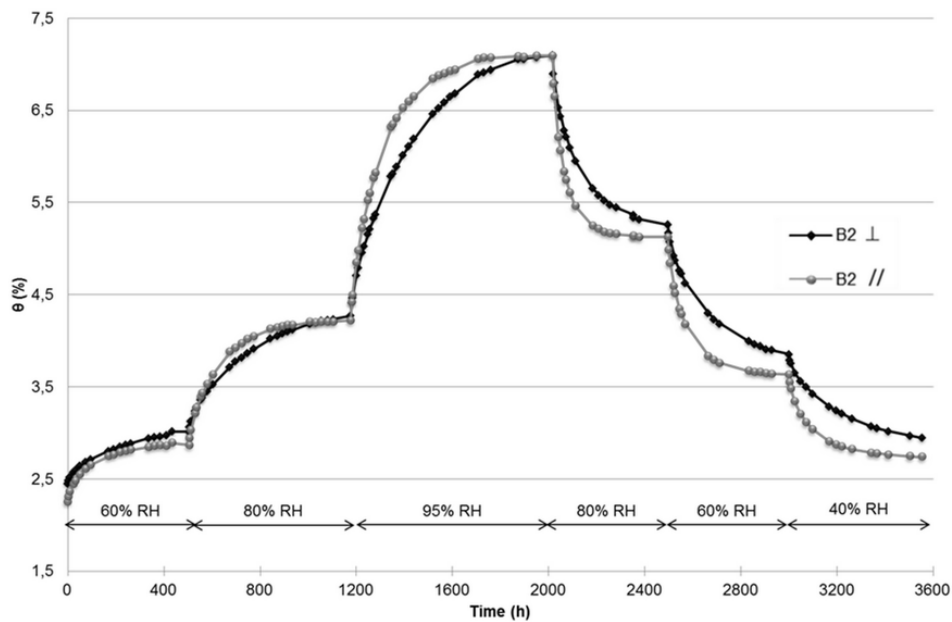


Fig. 4: Evolution of the moisture content (θ) of the samples *Dperp* and *Dpara* for the brick B2.

CONCLUSION

In this study, five extrude dearth bricks were characterized and the thermal conductivity, the water vapor factor resistance and the water vapor sorption were measured. The bricks came from several French brick works, the densities and the dimensions were similar. For each reference, the properties were studied in two directions: perpendicular and parallel to the direction of extrusion.

The results underlined that the hygroscopic properties are anisotropic and directly linked to the direction of extrusion and thus to the clay platelets orientation. The extrusion process generates stresses on the clay paste, the clay platelets tend to move in the direction of extrusion. In the perpendicular direction, the thermal conductivity and the kinetic of sorption are lower; the water vapor factor resistance is higher compared to the parallel

direction. The heat flow and the water vapor are slowed down by the clay platelets. In contrast, in the parallel direction, the heat flow and the water vapor are facilitated: the thermal conductivity and the kinetic of sorption are higher, the water vapor factor resistance is lower. The effects of the anisotropy are important with an anisotropy ratio ranged from 1.2 to 1.9.

In the future, it will be interesting for the brick manufacturers to consider these results to improve the characteristics of their products. Depending on the desired effect, they could extrude their bricks in the direction of the length or the height, or adjust the direction of the laying bricks. These first results should be completed by additional studies including microstructure studies to correlate the hygrothermal properties with the microstructure of the brick (amount of clay, clay nature, porosity, etc.).

REFERENCES

- [1] Minke, G., *Building with earth. Design and technology of a sustainable architecture*, Birkhäuser, 2006.
- [2] Maskell, D. Heath, A., Walker, P., *Laboratory scale testing of extruded earth masonry units*, Materials and Design, 2013,45:353-364.
- [3] Kornmann, M., *Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties*. Editions Septima. 2007.
- [4] Aouba, L., Coutand, M., Perrin, B., Lemerrier, H., *Predicting thermal performance of fired clay bricks lightened by adding organic matter: improvement of brick geometry*, Journal of Building Physics, 2015,1-18.
- [5] Aubert J.E, Fabbri A., Morel J.C., Maillard P., *An earth block with a compressive strength higher than 45 MPa*, *Construction and Building Materials*, 2013;47:366-369.
- [6] Aubert J.E, Gasc-Barbier M. *Hardening of clayey soil blocks during freezing and thawing cycles*, *Applied Clay Science* 2012;65–66:1–5
- [7] Heath, A., Walker P, Fourie, C., Lawrence, M., *Compressive strength of extruded unfired clay masonry units*, *Construction Materials*, 2009;162:105-112.
- [8] Cagnon, H., Aubert, J.E., Coutand, M., Magiont, C., *Hygrothermal properties of earth bricks*, *Energy and Buildings*, 2014, 80, 208-217.
- [9] Maillard, P., Aubert, J-E., *Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on their hygrothermal properties*, *Construction and Building Material*, 2014, 63, 56–6.
- [10] Aubert, J-E., Maillard, P., Morel J.C., Al Rafii, M., *Towards a simple compressive strength test for earth brick?* *Materials and Structures*, 2015,1-14.
- [11] EN ISO 8301, *Thermal insulation: determination of steady-state thermal resistance and related properties*; heat flow meter apparatus. 1991.
- [12] EN ISO 12572, *Determination of water vapor transmission properties*, 2001.
- [13] EN ISO 12571, *Hygrothermal performance of building materials and products-Determination of hygroscopic sorption properties*, 2013.
- [14] Laurent, J.P., *Propriétés thermiques du matériau terre*, Cahiers Techniques du Centre Scientifique et Technique du Bâtiments, 1987, 2156,1-19.

BIOGRAPHICAL NOTICE

Pascal Maillard is a R&D Project Manager. After a PhD in chemistry of materials (2006, Rennes), he joined the CTMNC to work on fired clay bricks in 2008. Now based in the laboratory of Limoges, he especially studies the extruded earth bricks and developed tests to characterize this material (mechanical, thermal and hygric properties).

Jean-Emmanuel Aubert is a Professor at the University of Toulouse and has performed his research activities in the LMDC since 2003. His main topics of research concern the eco-efficient materials used in building and road construction, especially the use of earth as construction materials.



Evaluating earthen mortars for rendering

Tânia SANTOS, Paulina FARIA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

ABSTRACT

As it is now recognized worldwide, the use of earth mortars for plastering and rendering is very important due to eco-efficiency. Rendering mortars have to present durability to rain water. A ready-mixed earth mortar based on natural clayish earth, siliceous sand and cut oat fibers was analyzed. In addition to this, three other mortars with volumetric proportion 1:3 (clayish earth: aggregate) were formulated in laboratory. A coarse and a fine sand were used as aggregate. Oat fibers were added to one of these mortars while oat fibers plus air lime were added to another. Microstructure, mechanical strength, capillary absorption, drying and mineralogical composition were evaluated. It was concluded that the addition of a small amount of air lime causes a decrease of mechanical strength and an increase on capillary absorption. For that reason it does not seem the best technique to increase durability for rendering mortars.

INTRODUCTION

Earthen plastering mortars are becoming recognized as highly eco-efficient (Maddison et al. 2009; Darling et al. 2012, Delinière et al. 2014, Lima & Faria, 2016) due to important environmental but also technical advantages, which justify their increased use. One of the technical advantages is the contribution for indoor hygrothermal equilibrium and for the inhabitants' health. While plasters must contribute to the indoor comfort, renderings have to resist the action of climate. For this reason, it is important to study the durability of earth mortars especially facing water. It may be achieved by surface treatments or different admixtures (Stazi et al., 2016).

Earth-based materials are often stabilized with small amounts of limes or cements with the aim of improving their mechanical resistance and durability (Hall et al. 2009). However, that eventual improvement is still not totally proven and little is known about the influence these stabilizers may have on the properties of the material (Gomes et al. 2012).

The sustainability of earth mortars is well known when compared with other types of mortars, mainly in terms of embodied energy. However the uses of chemical stabilizers contribute to the increase of mortar's embodied energy because of the energy needed to produce the binders in comparison with the clayish earth preparation (Mèlia et al. 2014). Furthermore, this addition changes completely the life cycle of the earth material itself, namely in terms of their possibilities to reuse. It is therefore important to evaluate the advantages and disadvantages of adding binders to earth mortars.

1. MATERIALS AND SAMPLES

A ready-mixed earth mortar (P) from Embarro company (Portugal and Spain) based on natural clayish earth, siliceous sand and cut oat fibers with 1-2 cm long, was produced and samples were prepared and tested. Other three earth-based mortars were produced with a clayish earth from the Algarve region (South of Portugal) and two siliceous sands with different particle size distributions (a coarse sand CS and a fine sand FS), cut oat fibers with 1-2 cm long (F) from Conlino (Germany) and a powder hydrated air lime (CL) classified as CL90 by EN 459-1 (CEN, 2010) from Lusal - Lhoist Group (Portugal). The laboratory formulated mortars were produced with 1:3 volumetric proportions of earth and sand. The fibers and air lime were added when defined. Volumetric compositions are presented in Table 1. The earth was always 25%; the formulated mortars are designated by the volumetric percentages of the sands and eventually 5% of fibers and lime. The volumes of water are also presented.

All mortars were produced in laboratory accordingly to DIN 18947 (DIN, 2013). The dry components were homogenized and the water was added during the first 30 seconds of mechanical mixing at low speed. After additional 30 seconds of mixing the mortar rested for 5 minutes and a last period of 30 seconds mixing completed the mortars' production. Mechanical compaction equipment was used to prepare prismatic samples 40mm x 40mm x 160mm in metallic molds with manual leveling. The prismatic samples were de-molded when hardened and reached equilibrium in controlled environmental conditions at $20 \pm 2^\circ\text{C}$ and $65 \pm 5\%$ relative humidity (RH).

Table 1. Mortars volumetric proportions

Mortars	Earth	Sand CS	Sand FS	Fiber	CL	Water
P			1		-	0.2
CS30_FS45	1	1.2	1.8	-	-	0.2
CS30_FS45+F5	1	1.2	1.8	0.2	-	0.25
CS30_FS45+F5+CL5	1	1.2	1.8	0.2	0.2	0.25

2. TESTING AND EVALUATION

2.1 Dry bulk density and microstructure

The dry bulk density was geometrically determined with the samples according to DIN 18947 (CEN, 2013) and EN 1015-10 (CEN, 1999a), by means of a digital caliper and a 0.001g precision digital balance. The open porosity and the pore size distribution were determined by mercury intrusion porosimetry (MIP), using a Micromeritics Autopore II equipment, applied to a specimen taken from the prismatic samples. The test samples were prepared so as to occupy the greater part of 5cm^3 volume of the penetrometer bulb. Testing began at low pressures ranging from 0.014 MPa to 0.207 MPa, followed by high pressure analysis from 0.276 MPa to 206.843 MPa. Results of bulk density determined geometrically and open porosity measured by MIP are presented in Table2. Incremental mercury porosimetry curves are plotted in Figure 1.

Table 2. Density, porosity, dynamic elasticity modulus, flexural and compressive strength.

Mortar	Bulk density [kg/dm^3]	Porosity [%]	Ed [N/mm^2]	FStr [N/mm^2]	CStr [N/mm^2]
P	1.77	29.9	4331	0.24	0.55
CS30_FS45	1.79	28.6	3933	0.22	0.56
CS30_FS45+F5	1.72	30.7	3838	0.19	0.43
CS30_FS45+F5+CL5	1.43	35.7	1577	0.09	0.22

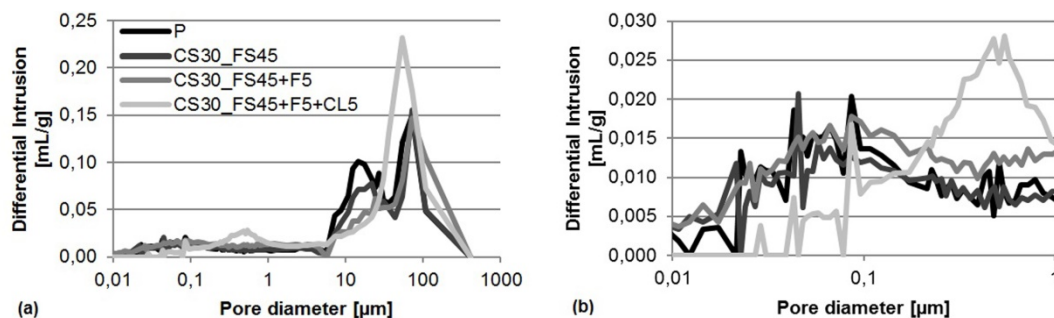


Figure 1. Porosimetry curves: (a) total range and (b) micropores range.

All mortars can be classified in class 1.8 in terms of dry bulk density, according to DIN 18947 (CEN, 2013), except the mortar with addition of air lime, classified in a lower class (1.6). According to Röhlen & Ziegert (2011) earth mortars usually have open porosity values between 20-30%. It is possible to conclude that the analyzed mortars have values within this range, except mortars with addition of fibers and particularly with air lime and fibers which are more porous.

With regard to porosimetry, it is possible to conclude that P, CS30_FS45 and CS30_FS45+F5 mortars present similar behavior between 6 and 108 μm , with higher quantity of peak pores around 72 μm corresponding to 0.15 ml/g. The first two mortars present a bi-modal microstructure as they also have a lower peak around 14 μm (with 0.018 ml/g). Mortars with air lime behave differently, with higher quantity of pores. This mortar present a bi-modal distribution curve with a high percentage of pore interconnection equivalent diameter of approximately 55 μm (with 0.23 ml/g) and with 0.55 μm (with 0.028 ml/g).

2.2 Mechanical strength

The mechanical characteristics were evaluated using three samples. The dynamic modulus of elasticity was determined based on EN 14146 (CEN, 2004), defined for natural stone, using a Zeus Resonance Meter. The flexural and compressive strengths were determined according to DIN 18947 (DIN, 2013) and EN 1015-11 (CEN, 1999b) using a Zwick Rowell Z050 equipment, with load cells of 2kN for flexural and 50 kN for compression. The mechanical characterizations of mortars are presented on Table 2 (average and standard deviation).

The mortars CS30_FS45 and CS30_FS45+F5 presented mechanical characteristics similar to the ready-mixed mortar, while the mortar with air lime showed lower mechanical characteristics. This mortar presented higher porosity and higher amount of large pores; that can justify their low strength.

In relation to dynamic modulus of elasticity, Röhlen & Ziegert (2011) define a large range, between 450-3000 N/mm². The mortars with addition of air lime are in this range while the others present higher values. Gomes et al. (2012) for earth mortars with addition of 5% of hemp fibers (thicker than the oat fibers) and 5% of air lime obtained lower values whereas for flexural and compression strength obtained higher resistance. Faria et al. (2014) analyzed air lime-based mortars with partial replacements of lime up to 50% (on 1:2 per volume mortars) or siliceous sand up to 25% (on 1:3 per volume mortars). The earth mortar with 5% addition of lime tested in the present study register lower flexural and compressive resistance.

2.3 Capillary absorption and drying

The capillary absorption of the mortars was assessed, based on EN 15801(CEN, 2009) and EN 1015-18 (CEN, 2002), by sequential weighing of the samples in contact with water to a height of 5 mm and using specimens with 40mm x 40mm x 40mm that were cut from the prismatic samples. The lateral faces were waterproofed with an epoxy resin. A thin cotton tissue was applied on the top down of the samples, to contain eventual mass loss of fines, and was maintained by a thin elastic band. Each sample was placed inside a net basket, in order to be handled throughout the test (Figure 2 (a)). The capillary curve, with water capillary absorption by contact area with water in ordinate (in kg/m²) and the square root of time in abscissa (in min^{0.5}), was plotted (Figure 3 (a)). The capillary coefficient, CC, represents the initial capillary absorption and was determined by the slope of the initial and most representative segment of the capillary curve.

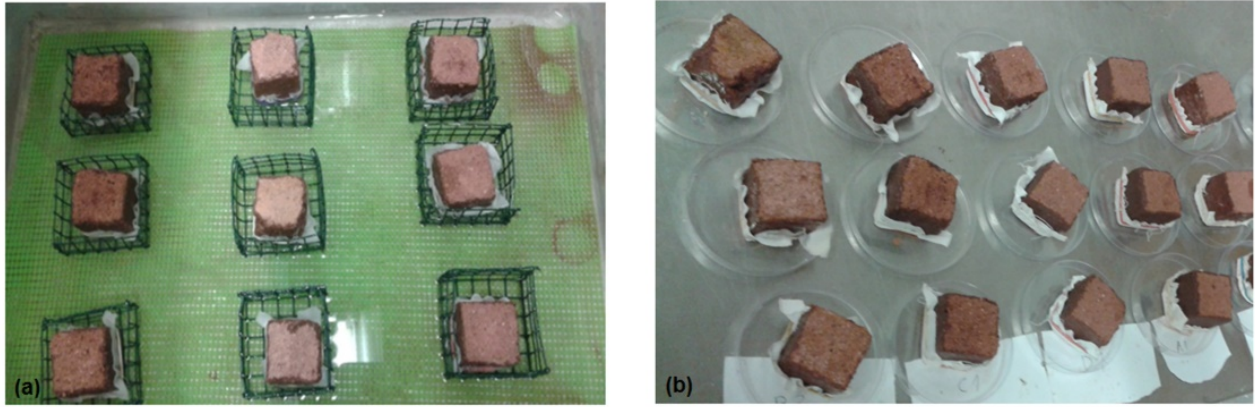


Figure 2. Mortar samples being tested for: (a) capillary and (b) drying.

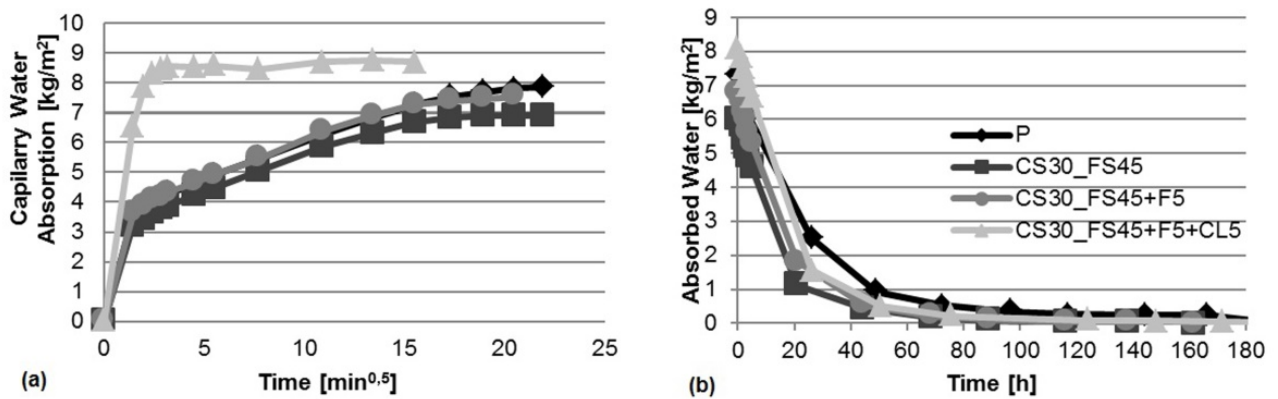


Figure 3. Capillary curves (a) and drying curves (b).

The drying capacity of the mortar was assessed after samples had been wetted by the capillary test, as described by EN 16322 (CEN, 2013), but without complete saturation of the samples and under controlled environmental conditions (Figure 2 (b)). The drying could only proceed by the top of the samples and it is expressed by the drying curve with absorbed water per drying area in ordinate (in kg/m²) and time (in h) in abscissa (Figure 3 (b)). The drying rate (DR) represents the initial drying of the mortar and was determined by the slope of at least 5 successive points of the drying curve for each mortar. The drying index (DI) represents the difficulty of achieving complete drying, in equilibrium with environment, and was calculated for a period of 140 h. Table 3 presents the capillary coefficient, drying rate and drying index.

Table 3. Capillary coefficient, drying rate and drying index of the mortars.

Mortar	CC [kg/(m ² .min ^{0.5})]	DR [kg/(m ² .h)]	DI [-]
P	2.52	0.18	0.20
CS30_FS45	2.27	0.23	0.12
CS30_FS45+F5	2.56	0.23	0.14
CS30_FS45+F5+CL5	4.63	0.25	0.14

It can be observed that the addition of air lime promotes an increase of capillary coefficient. The addition of fibers without air lime allows the formulation of a mortar with similar capillary coefficient to the ready-mixed mortar (also with fibers), while without fibers the mortar presents a lower and more positive value.

The laboratory formulated mortars present a faster initial drying (higher drying rate) compared to the ready-mixed mortar, being the mortar with lime slightly faster. Similar tendency is presented in terms of drying index, being the formulated mortars the ones with

easier total drying capacity (lower drying index), compared with the ready-mixed mortar, being the formulated mortars with lime the better. It is possible to conclude that the mortar which has a more positive behavior in terms of capillarity and drying is the formulated mortar without additions, being the mortar with lime particularly disadvantageous for capillary absorption. The capillary coefficient depends on the pore size and their connectivity, more porous mortars having higher values. The negative behavior of the mortar with lime can be justified given that it has more and larger pores. The use of lime may lead to an intensification of moisture-related anomalies in the wall-rendering system (Gomes et al., 2016).

2.4 X-ray diffraction

X-ray diffraction test (XRD) was carried out with a Phillips diffractometer with Co K α radiation, speed of 0.05 °/s and 2 θ ranging from 3 to 74. Two types of mortar fractions were analyzed: global fraction (GF), obtained by grinding the mortar samples as collected, and a fine fraction (FF), which was obtained from the fines of the mortar samples, both passing a 106 μ m sieve. The results obtained by XRD of mortars are presented on Table 4, in qualitative terms.

Table 4. X-ray diffraction on global and fine fractions.

Identified crystalline compounds	P		CS30_FS45		CS30_FS45+F5		CS30_FS45+F5+CL5	
	GF	FF	GF	FF	GF	FF	GF	FF
Quartz	+++	++	+++	++	+++	++	+++	++
K-Feldspar	++/+++	+	++	+	++	+	++/+++	+
Illite	+	++	+	++	+	++	+	+/++
Kaolinite	Vtg	+	Vtg	+	Vtg	+	Vtg	+
Hematite	Vtg	Vtg/+	Vtg	+	Vtg	+	Vtg	+
Calcite	-	-	-	-	-	-	+	++
Dolomite	+	++	+	++	+	++	+	++

Comparing P and CS30_FS45 mortars it is possible to conclude that there are no substantial differences in their mineralogical compositions, although the mortar P presents a higher proportion of feldspar. As expected: in the fine fraction an intensification of clay minerals is observed (mica, kaolinite and dolomite); the addition of fibers has no effect on the mineralogy of mortars; the presence of calcite is intensified in the mortar with air lime addition. No other compounds are detected, showing that the lime did not react with the earth. Nevertheless the lime may act as a blocker of the clay structure, inhibiting the characteristics of the clay, like its swelling, and leading to a different structure of the mortar matrix (Gomes et al., 2016).

CONCLUSION

From the study of these earth mortars it is possible to conclude that the addition of 5% of air lime causes a loss of mechanical strength and an increase of capillary absorption without significant changes on drying. This negative influence can be justified by the higher pore size and porosity. XRD has proven that there is no reaction between the lime and the clay but the inclusion of the small percentage of lime (5%) may inhibit the natural characteristics of the clay, namely its swelling, changing the mortar behavior.

A more complete characterization of earth-based mortars with different amounts of lime is ongoing in order to assess durability for renders. But for the time being it seems that the addition of low percentages of lime is not advantageous.

REFERENCES

- CEN, 1999a. EN 1015-10:1999/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar; CEN, Brussels.
- CEN, 1999b. EN 1015-11:1999/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar; CEN, Brussels.
- CEN, 2002. EN 1015-18: Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar; CEN, Brussels.
- CEN, 2004. EN 14146: Natural stone test methods. Determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency); CEN, Brussels.
- CEN, 2009. EN 15801: Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity; CEN, Brussels.
- CEN, 2010. EN 459-1: Building lime. Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria; CEN, Brussels.
- CEN, 2013. EN 16322: Conservation of Cultural Heritage. Test methods. Determination of drying properties; CEN, Brussels.
- Darling et al. (2012). Impacts of clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements. *Build. Environment*, 57, 370–376, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.06.004
- Delinière et al. (2014). Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. *Build. Environment*, 80, 11–17; doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012
- DIN, 2013. DIN 18947. Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (in German); DIN, Berlin.
- Faria P et al. (2014). Air lime-earth blended mortars - Assessment on fresh state and workability. *Earthen Architecture – Past, Present and Future*. Taylor & Francis, London, 133-138.
- Gomes et al. (2012) Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers. In: *RESTAPIA 2012 – International Conference on Rammed Earth Conservation*. Rammed Earth Conservation, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), Taylor & Francis, London, 661-668; ISBN 978-0-415-62125-0
- Gomes et al. (2016) Hydric behavior of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: study on repair mortars for historical rammed earth structures. *J. Mater. Civ. Eng.*, 28(7): 04016041; doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001536
- Hall, M. R. et Allinson, D., 2009. Influence of cementitious binder content on moisture transport in stabilized earth materials analysed using 1-dimensional sharp wet front theory. *Build. Environment*. 44(4), 688-693.
- Lima, J. et Faria, P. (2016) Eco-efficient earthen plasters: The influence of the addition of natural fibers. In: *Natural Fibres: Advances in science and technology towards industrial applications*. RILEM bookseries, Figueiro R., Rana S. (eds), Springer, Dordrecht, 12: 315-327; doi: 10.1007/978-94-017-7515-1_24
- Maddison et al. (2009). The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands. *Build. Environment*, 44(9), 1864–1868; doi: 10.1016/j.buildenv.2008.12.008
- Melià et al. (2014). Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. *J. Cleaner Prod.*, 80, 179–186; doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.073
- Röhlen, U.; Ziegert, C. (2011). *Earth building practice*, Bauwerk, BeuthVerlag GmbH.
- Stazi, Fet al.. (2016). An experimental study on earth plasters for earthen building protection: the effects of different admixtures and surface treatments. *J. Cult. Heritage*, 17, 27-41; doi: 10.1016/j.culher.2015.07.009

AUTORS' BIOGRAPHICAL NOTICES

Santos Tânia, PhD student on optimization of earth mortars, with a 5 years MSc degree in Civil Engineering, with specialization in Construction. Teaching assistant at Universidade NOVA de Lisboa (UNL). Collaborator member of research center CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability.

Faria Paulina, PhD in Civil Engineering, Associate Professor at UNL, member of research center CERIS, of Waste@NOVA, of ICOMOS, of RILEM and Centro da Terra Association. Formerly researcher at LNEC – Portuguese National Civil Engineering Laboratory - and professor at other Portuguese HE institutions, is specialized in building materials, technologies and pathology, collaborating in several research projects and supervisions.



Greece - New potential for earthen heritage

Claire OIRY, Kalliopi PANDI, Apostolos MOUSOURAKIS

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

Greece is a country of earthen architecture. Earthen Heritage is met all around the country. Buildings, often abandoned, hence in good condition, are an ignored treasure. For decades, the irrational urbanization has led to mitigation of agricultural areas. In addition, the major current financial crisis has significantly slowed the domestic construction market. The rehabilitation of the housing stock could be an alternative to overuse of land and a restarting source of responsible local development activity. In order to reconsider urban planning, it is inevitable to involve municipalities in the implementation of recovery and conservation projects. Actually, the Italian “Associazione Internazionale Città della Terra Cruda”, active since 2001, works on safeguarding earthen heritage by directly involving municipalities in various projects. Experienced for more than ten years, the Association now seeks to integrate other European cities to its network to share its knowledge. The city of Karditsa joined the Association in 2015 in order to be accompanied in its first project for conservation and development of Earthen Architecture including the creation of a “Centre for Documentation of Earthen Architecture” for research and professional training.

INTRODUCTION

Greece is a country of earthen architecture. Evidence of earthen structures is met all around the country. Such witness of traditional culture of earthen architecture was alive from the ancient times, adopted by all social classes and covered several different uses (residencies, storage, public buildings etc). The variety of these structures still stable even in highly seismic areas, reveal high levelled art of construction and the existence of experienced workforce. Apart from several abandoned settlements built on earth met in Northern Greece, earthen houses are still inhabited in many urban centres and villages. Karditsa, a city of central Greece, and the surrounding area are a significant example.

Despite the reach past of the country, culture of earthen architecture is ignored in Greece. Expertise of building with earth has been forgotten for more than 50 years. Furthermore, current legislation is not helpful. It is focused on concrete and stone structures, and has no special provisions for restoration or construction of modern earthen buildings.

The interest on Greek earthen heritage has been awakened during the last decade by several individual organisations, but is not supported by the state’s authorities. Recently, the city of Karditsa showed a real interest for the conservation of its earthen heritage. This interest and the actions that follow it constitute the first attempt to involve local authorities into the conservation and valorisation of earthen heritage. Since no similar experience has been acquired in the rest of the country since now, the city has turned for advice to international organisations. This is a promising and challenging potential for the dissemination of culture of earthen architecture in national level and for further development of the area of Karditsa in a sustainable way.

1. CULTURE OF EARTHEN CONSTRUCTION IN GREECE: KARDITSA EXAMPLE

1.1. Greece, land of adobes

Greece is a Mediterranean country sharing with the neighbouring ones a particular climate that unifies the scenery and lifestyle as well as common history, based on the essential

fact that the Mediterranean itself is an ancient crossroad "for many millennia while flocking to it [...] men, beasts of burden, cars, merchandise, ships, ideas, religions, arts of living ..." (Fernand Braudel, 1985). From these two components obvious similarities derive in the Mediterranean traditional way of construction. The dominant building materials were stone and earth. Stone is often, and for a long time, considered to be nobler and gradually earth was erased from the collective consciousness. However, earth building techniques, particularly the brick moulding technique, adobe, is (or was) part of the dominant construction techniques for all types of buildings throughout the eastern zone. Greece is no exception. One finds evidence of the use of adobe from the Neolithic Period (proto-historic period that witnessed the development of livestock, agriculture and therefore the development of settlements) (Poursoulis, 2009).

Due to its geographical location, the country received the influence of many civilizations for thousands of years, perhaps more than any other Mediterranean country. From this mixture of influences and expertise, a real constructive culture of adobe was born that is attested in a large part of Greek territory, where earth is more available than stone (Fig. 1 and 2).



Fig.1 _ Map of Greek earthen heritage.



Fig.2 _ Panorama of Greek earthen heritage.

In Greece the culture of adobe construction techniques was thus widespread until the mid-20th century. Adobe was called “πλιθιές” (plithies). It is interesting that around the whole country a wide variety of types of buildings constructed with raw earth materials are found, that share similar building systems.

The substructure of these buildings is systematically made of stone with a varying height from region to region. The masonry consists of adobes and hosts a wall tie (chainage) (“klapes” in Greek) every 1,00-1,50m in height (Fig. 3). The structure is occasionally strengthened on top by a larger wall tie, although such structures are not always present. On the ground floor the thickness of the walls is usually 45 cm and decreases in the upper floors with a fitting of brick-laying (Fig. 4). Sometimes a technique lighter than adobe is used for the upper floors: “τσατμάς” (tsatmas) or “Μπαγδατί” (bagdati), are two filling techniques, formed by a wooden frame filled with earth or brick, common mainly in northern Greece (Fig. 5). Generally, traditional adobe buildings are covered with a protective coating. While techniques vary depending on the area and even from one house to another within the same village, the following characteristics are often observed:

- First layer of plaster (thickness: 2-3 cm): earthen plaster reinforced with fibers of shortlengthed straw or animal hair, depending on the available material.
- Second layer of plaster (thickness: 1-2 cm): lime/ sand plaster reinforced with fibers of shortlengthed straw or animal hair depending on the available material.
- Finishing layer: lime milk



Fig.3 _ An example of horizontal wall tie on an earthen Greek house: the «klapes».

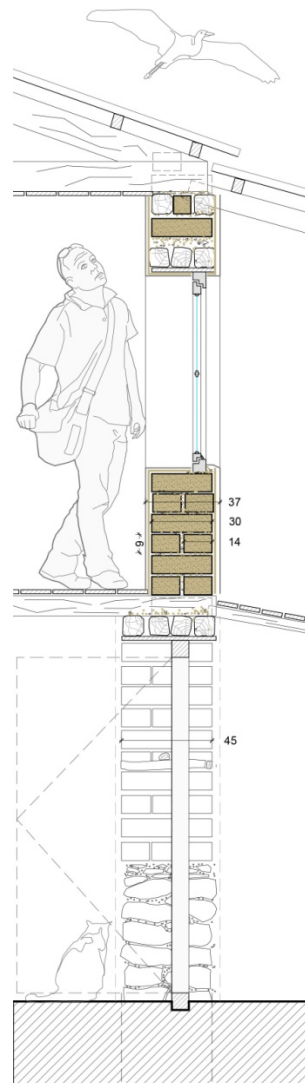


Fig.4 _ Typical cross-section of Greek adobe houses.



Fig.5 _ Examples of earthen filling techniques «τσατμάς» (tsatmas) and «Μπαγδατί» (Bagdati).

Although culture of earthen construction in Greece is so common, it is completely ignored. Greece is profoundly thought as the country of stone structures and it is difficult to change this belief, since the majority of extant significant monuments of ancient times and modern touristic resorts appealing to open public are made of stone. However, the assessment of earthen construction heritage of the country could help to reaffirm local identity in some areas away from the main touristic paths. In order to increase the awareness of this heritage, a form of interactive map inventory was initiated by “Piliiko Non-Profit Organization” and “Plinthos Laboratory” (Grigoriadou E., Manousogiannaki G, Oiry C, 2015), (Fig.6).

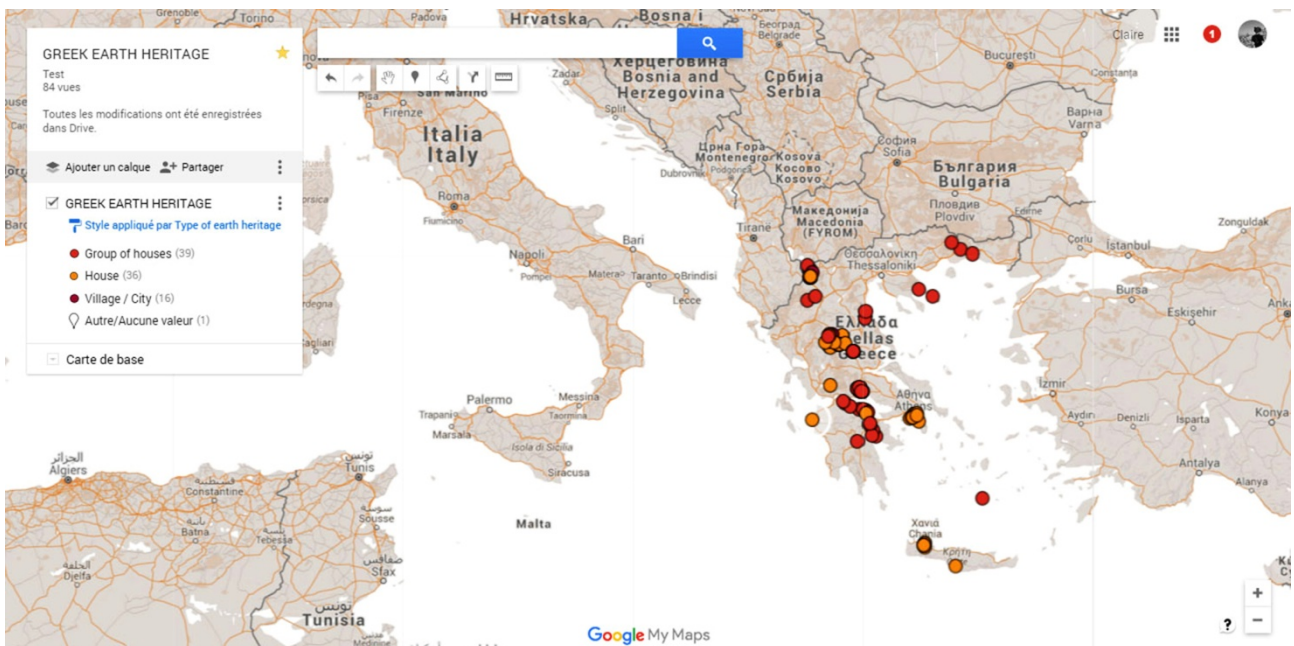


Fig.6 _ Extract of the interactive map inventory of Greek earthen heritage.

1.2. Earthen heritage of the Municipality of Karditsa, testimony of a forgotten construction culture

In the center of Greece, there is the Region of Thessaly (Fig. 7). Vast plain surrounded by mountains is one of the main agricultural areas of the country. It is mostly a fertile land, with soil composed of sand, silt and clay without significant rock formations except from the mountainous peripheral areas. The climate alternates between very cold winters and

extremely hot summers. According to Raphael Orgelot (2009), four out of seven archaeological sites from the Neolithic period have revealed the presence of mud bricks on sites located in Thessaly. Since this period, the construction with adobe apparently had not stopped until the mid-twentieth century. The region thus offers today a wide variety of residencies with adobes.

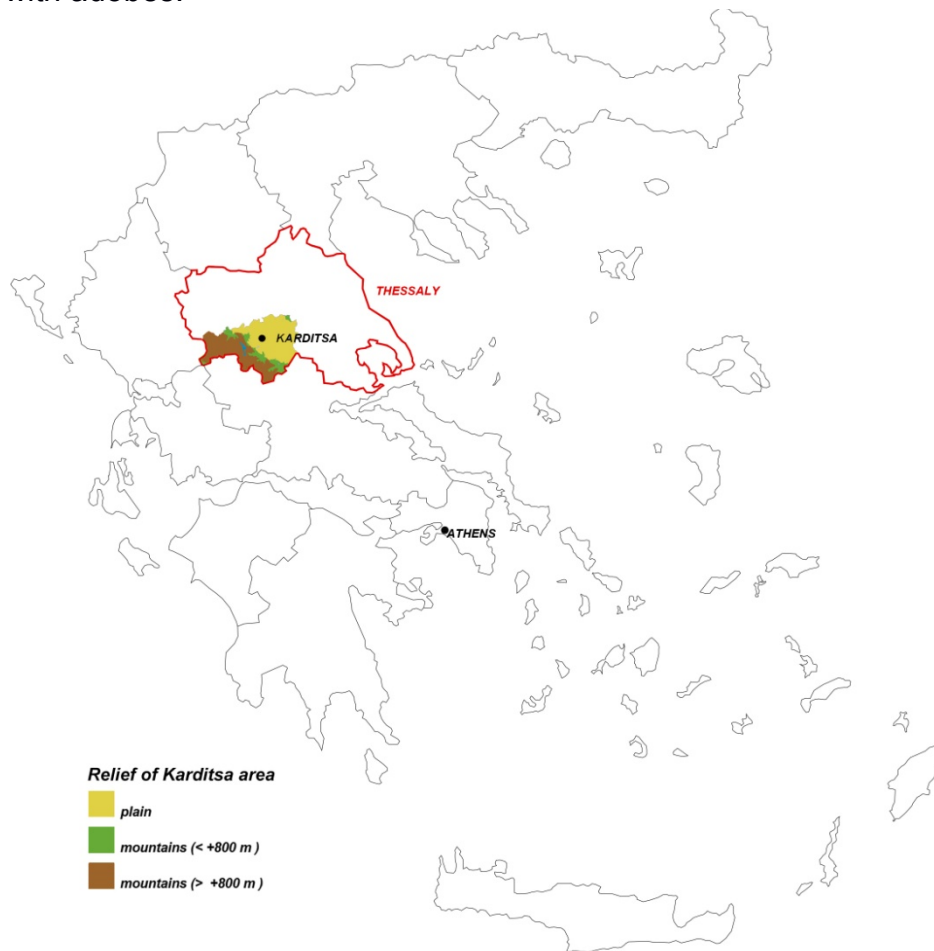


Fig.7 _ The Region of Thessaly and the province of Karditsa in Greece.

The city of Karditsa and its surroundings are no exception to this rule. The Regional District of Karditsa is located in the southwestern part of Thessaly. It covers an area of 2.636 million hectares and has about 130 000 inhabitants. The climate is continental. Southwards and westwards, the hills of Thessaly form the first foothills of the Massif Pindus where Lake Plastira is situated. Wandering around the area, it is easily revealed that the use of earth as a building material was not confined to a social class, a particular urban or rural context. Raw earth was indeed the main building material of the province of Karditsa. The result is a wide variety of construction types depending on the level of life of people, their activities and comfort. The common point of these earthen constructions is the use of the building system that is found all around Greece: thick adobe walls on stone ground floors belted by horizontal wall tie met every 1,00-1,50m.

One of the types commonly found in the villages and in the city centre of Karditsa is that of the rectangular house with two levels. It is often accompanied by storage spaces adjoining the main house. These houses are linked to a more rural than urban culture. Where the owners were relatively affluent, many decorative details, balconies and porches are often found. The houses listed on one of the main streets of Karditsa (Fanariou St.) date back to the 30s. Smaller houses with a single level are also quite numerous. They also possess a front porch or front steps. The visible facades are systematically covered with thick coating

of lime sometimes coloured on the lower part. The roofs are hipped, these homes are free-standing. Structures with simple shapes in horizontal plan, square or "L", obtain often small extensions made of earthen, bricks or cement blocks. Construction culture of the plains has certainly shifted to the most isolated areas in the hills around Lake Plastira, 800 meters above sea level. Here the buildings are smaller but construction details mentioned above are still present. In villages in height, over 900 meters above sea level, stone houses and adobe barns are met. Their bases extend up to 1m / 1,5m for protection from snow, much more common in winter than in the plain. They may also have some frontages made of wattle and daub (Fig. 8).

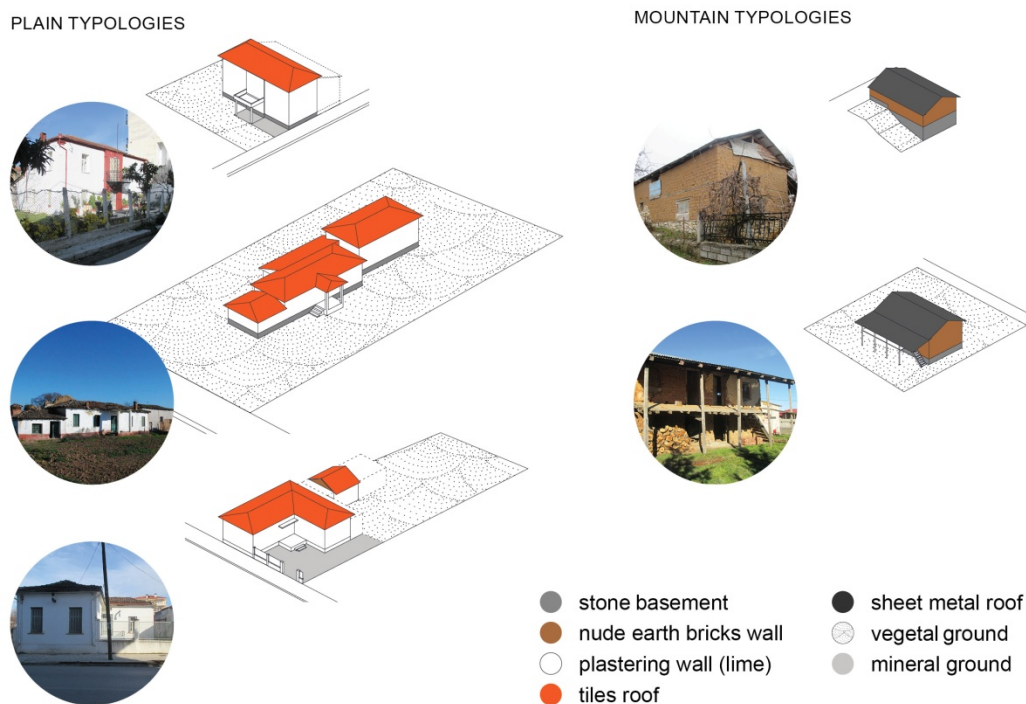


Fig.8 _ Different typologies of earthen buildings in the province of Karditsa.

Construction culture of adobe was therefore undeniably part of the local identity of the area from the city of Karditsa. But since the 60s and the arrival of concrete, this culture has been completely forgotten.

2 EXISTING LEGISLATION AND CURRENT SITUATION IN THE CITY OF KARDITSA

2.1. Current legislation

No regulations on earth building have ever been established in Greece. However, the strength of earthen construction through time testifies the adoption of practices by workers that follow the rules of the knowledge and practice of seismically protected structures:

1. diaphragmatic function
2. tiers
3. protection of openings with wooden elements
4. equitable or growing mass distribution from the upper to the lower floor (common choice of light construction in the upper floors – wattle & daub)

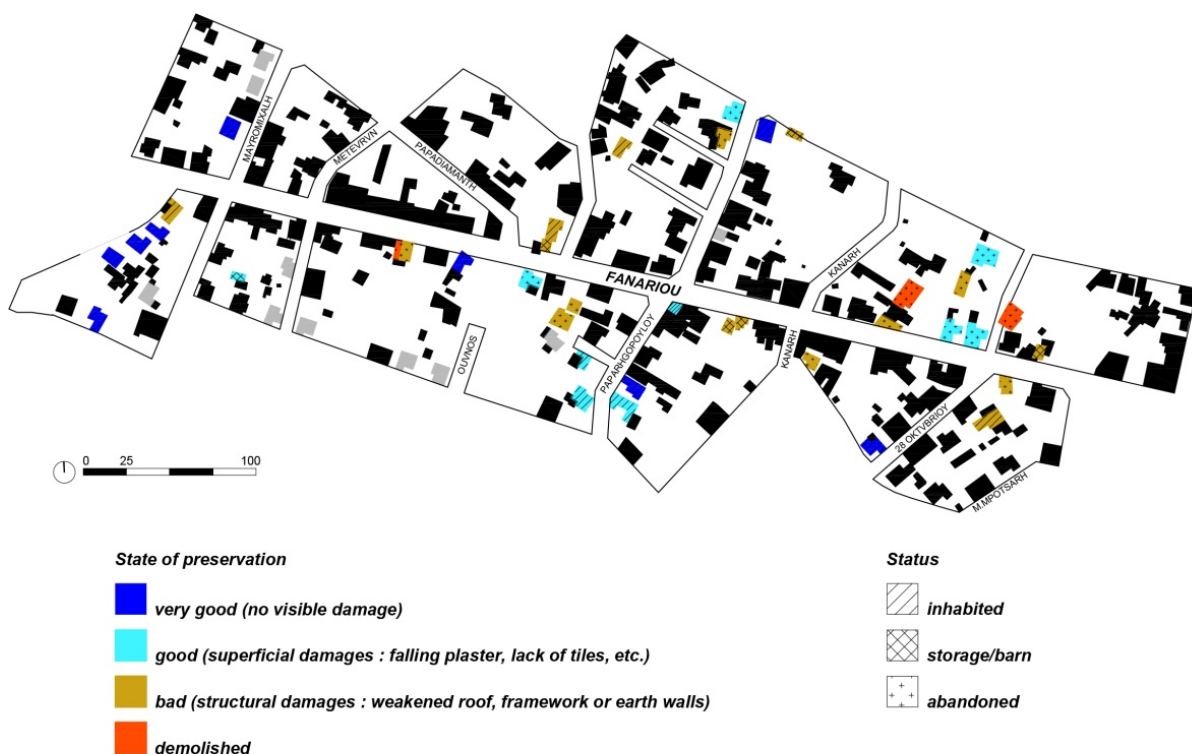
5. limited height of earthen construction. The height does not exceed normally two floors (ground floor and first floor)

The design of new earthen structures in which earthen parts acts as bearing component is not allowed in Greece. The engineers in Greece are obliged to use the EC6 and EC8 according to the provisions of Greek Seismic Code (EAK2000), that do not allow the transfer of loads on elements of raw earth because of the seismicity of the country. Alternatively, one can use earthen techniques as infill in a bearing structure of another material (metal, wood, reinforced concrete).

Concerning the restoration of existing earthen structures, KANEPE (KANEPE, 2013) provides the loads and analysis while but the reinforcement and checking of the model acquire certified experimental data that are not easily available.

2.2. Current situation in the city of Karditsa

Nowadays, the city of Karditsa is mainly composed of 2- or 3- storey concrete residential structures aged forty years approximately. However, older, not destroyed, residencies are also found. The majority of them are made of earth. Along and around Fanariou Street, the major axis leading from the central square to west edge of the city, a fair number of such houses is found (Fig. 9). Preliminary research on the area (Oiry C, 2014) shows that 10% of the urban area is covered by adobe houses, 40% of them abandoned. The adobe houses in use are inhabited by elderly people. This is explained by the fact that the production of adobes bricks was arrested in the 60s. Since the residents of earthen houses mainly prefer to live in a new concrete building, major deterioration of earthen heritage is mentioned: 8% of homes are demolished, 37% are in a very bad condition (structural damage: weakened roof, framework or earthen masonry), while only 26% note no visible structural degradations (falling plaster or tile / very damaged wooden framework etc.). These high percentages attest the vulnerability of this heritage and contribute in the degradation of its image. If immediate act is not taken, this process will lead to destruction and culture of earthen architecture will be forgotten.



- technical assistance to municipalities in the field of participation in calls for regional, national and European projects,
- technical assistance to architects, engineers during the construction of earthen architecture structures,
- technical assistance to companies specialized in the production of earthen building materials. Organization of earthen architecture workshops for students and professional architects and engineers.
- Training program for designers, businesses. Teaching laboratory organization.

Concerning the city of Karditsa, the question that arises is: how could Italian experience be transferred to Greece? The association responds with “mutuality”: learning from others, exchanging and sharing of the benefits. Thus, Karditsa’s challenge is to live up to expectations that several Italian municipalities have already reached, such as the cultural awareness on earthen architecture of local population, the efficient training of local artisans concerning the restoration of buildings with earthen materials/techniques, the effective co-operation with homeowners.

One of the elements that are of most interest in the town of Karditsa is the issue of tourism development. The city is particularly interested in Sardinian event of the "della città delle itinerario turistico earth cruda" that decries as a tourist offer experimental type that allows the visitor to experience the daily activities of the place. [...]. The route, in addition to encouraging the host community, has to rediscover its own cultural roots and promote hospitality intends to enhance the cultural and landscape heritage and local products starting with the restoration and reuse of traditional earthen houses (Associazione Internazionale Città della Terra Cruda, 2015).

The entry of the Municipality of Karditsa in the network was formalized in September 2015. In late November 2015, the Greek municipality is due to participate for the first time in the meeting attended by the municipalities of the “Associazione Internazionale Città della Terra Cruda in Villacilo, Sardinia in order to present the aforementioned issues concerning the city, the region of Thessaly and Greece. This meeting will also enable understanding and discussing with Italian participants, potential projects that could be initiated in the city Karditsa. In anticipation of this work, a project for the establishment a “Center of the earth” in Karditsa, on the pattern of CEDTerra of Casalincontrada, was initiated to accommodate future lessons, workshops and training sessions.

4. CENTER FOR DOCUMENTATION OF EARTHEN ARCHITECTURE IN KARDITSA

The city of Karditsa is an important urban centre in the Region of Thessaly and central Greece in general, that hosts several institutions that could support the creation of a Documentation Centre of Earthen Architecture for research and professional training. The central location of the city contributes in activating people not only on local but also on national level.

Such institutions already interested in supporting this new project are:

1. AN.KA. S.A. ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ (ANKA) – Organization for local Development in Karditsa, www.anka.gr
2. Municipality of Karditsa, <http://www.karditsa-city.gr>
3. Technological & Educational Institute (TEI) of Larissa, Karditsa Annex, Wood and Furniture Design & Technology Department, <http://www.wfdt.teilar.gr/>
4. Non profit organization «Piliko» , Chania, Greece

5. Associazione Internazionale Città della Terra Cruda, Samassi, Italy

The center could carry out activities such as:

- a. recording and study of traditional architecture of Raw earthen continental Greece
- b. research on application of clay and other natural materials in the building industry
- c. preparation of professionals in the construction industry through workshops, seminars and other educational activities.
- d. promotion of the earthen construction through exhibitions, conferences etc.

The Center could have a significant role on national and international level by exchanging information on earth and disseminating the Greek experience in using earth as a building material in combination with other existing or under development natural materials.

The principal aim would be the creation and main documentation of new economies based on earthen Architecture.

5. CONCLUSION

All these initiatives around the city of Karditsa serve two major objectives. Firstly, the use of earth as building material in a region where earth was the core of building culture for thousands of years and up until the last 50 years is reevaluated. The second objective, and possibly the most important given the current situation, is the use of this cultural upgrade as a springboard for developing new economic dynamics respecting local identities, ecology and people in a country where these aspects have been neglected. Thus, the establishment of Greek center for research and experimentation for building with natural materials and tourism development initiatives with the support of the “Associazione delle città della terra cruda” could be the first real actions that link earth as a building material with local development in Greece.

BIBLIOGRAPHIE

- Associazione internazionale delle città della terra cruda (2001). *Presentazione le città della terra cruda*, www.terracruda.org.
- Associazione internazionale delle città della terra cruda (2015). *Locandina Itinerario turistico culturale, le città della terra cruda, Villacidro*, www.terracruda.org.
- Orgelot, R (2009). *Les structures architecturales en terre crue de la Protohistoire égéenne: de la fouille à l'identification*, proceedings of MEDITERRA 2009 - 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture, 13 - 16 March 2009, Cagliari, Sardinia, Italy
- Poursoulis, G (2009). *Culture sismique locale en Crète (Grèce) à l'Âge du Bronze*, proceedings of MEDITERRA 2009 - 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture, 13 - 16 March 2009, Cagliari, Sardinia, Italy
- Braudel, F (1985). *La Méditerranée, l'espace et l'histoire*, Edition Flammarion, Paris, p.9
- Oiry, C (2014). *Relever Karditsa*, research work for admission dossier in DSA Architecture de terre, Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble, France
- Grigoriadou E , Manousogiannaki G, Oiry C (2015), Plinthos Laboratory and Piliko Non – Profit Organisation, *interactive map of Greek Earthen Heritage* <https://www.google.com/maps/d/edit?mid=z1FXz-AkKaw0.kj1Qq0FdTVhA>
- EAK2000 (2003) *Greek seismic code*, OASP-SPME, Greece
- KANEPE, *Interventions Regulation*, 1st Revision June 2013, Greece

BIOGRAPHICAL NOTICES

CLAIRE OIRY

Architect (2010), graduate of the National School of Architecture of Paris La Villette. Graduate of the post-master “DSA in Earthen Architecture” from the National School of Architecture of Grenoble (2016). Based in Chania (Crete, Greece), she has been developing several projects to promote and safeguard the Greek vernacular earthen heritage, in collaboration with local institutions such as Technical University of Crete. Member of PILIKO non profit organization.

KALLIOPI PANDI

Kalliopi Pandi, Civil Engineer, MSc in Earthquake Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece is due to complete Master course ‘Geotechnology and Environment’ in Technical University of Crete, Greece. Based in Chania, works as freelance engineer and specializes on earthen architecture as founding member of PILIKO non-profit organization.

APOSTOLOS MOUSOURAKIS

Graduate of the Polytechnic School of Milan, Apostolos Mousourakis obtained his Master Degree in ‘Bioarchitecture’ of the University of Bologna and in ‘Environmental Design’ of the G.O.U.. He is founding member of non-profit organization PILIKO specialized on earthen architecture and freelance architect in lab of earthen building in Chania.



Mejoramiento de vivienda Centro Tradicional Bogotá

Aylén BRICEÑO CÓRDOBA

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

En el Centro Tradicional de Bogotá se encuentran los barrios Las Cruces, Egipto, Belén y Santa Bárbara, donde se observa la arquitectura doméstica más antigua de la ciudad, construida con técnicas y materiales tradicionales, como el adobe y la tapia pisada. Los cambios socioeconómicos que ha experimentado esta zona han ocasionado deterioro de inmuebles, bajas condiciones de habitabilidad e imagen negativa del sector.

El Plan de Revitalización del Centro Tradicional de Bogotá -PRCT, busca consolidarlo como un centro vital, diverso y participativo, propuso dentro de la estrategia habitacional el proyecto prioritario “Las Cruces es tu Casa”, con el objetivo de aplicar por primera vez el Subsidio Distrital de Vivienda en Especie, en un Sector de Interés Cultural de Bogotá.

El proyecto se desarrolló conjuntamente entre el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural -IDPC, la Caja de la Vivienda Popular -CVP y Hábitat para la Humanidad Colombia -HPHC, durante 20 meses, realizando actividades como mantenimiento de cubiertas, sustitución de pañetes de cemento en muros de tierra, mejora de baños y cocinas, instalación de pisos, pintura, ventanas y puertas, cambio de redes, entre otros. El resultado fue la intervención de 150 viviendas con mejoramiento de condiciones de habitabilidad, beneficiando cerca de 574 habitantes.

INTRODUCCIÓN

Al sur del centro histórico de Bogotá se encuentra el barrio Las Cruces, un sector de interés cultural que se consolidó a finales del siglo XIX, reconocido por su arquitectura republicana y por ser una de las cunas del Hip Hop en Colombia. Este barrio ha tenido impactos urbanísticos debido a la construcción de vías como la Avenida Comuneros y la Carrera 10^a, realizadas para mejorar la movilidad y conectividad del centro con el resto de la ciudad, que dejaron con su trazado segregación morfológica y social en el barrio.

Así, las familias tradicionales que habitaron el sector se trasladaron a otras áreas de la ciudad, con lo cual fue cambiando paulatinamente el uso residencial del barrio, dando paso al comercio y con ello a un proceso de invasión y deterioro de las edificaciones. Por otra parte, con la transformación de las grandes viviendas en pequeñas unidades de habitación, llegaron familias numerosas a residir en condiciones de precariedad, lo que aunado a calles y plazas en alto estado de deterioro, hizo que Las Cruces se transformara en una isla urbana, con graves problemas sociales entre ellos: presencia de habitantes de calle, tráfico de drogas, prostitución, inseguridad y alto porcentaje de criminalidad.

Por esto, la primera acción del PRCT en este territorio fue poner en marcha el mejoramiento de las viviendas y así recuperar la confianza de los habitantes en las instituciones públicas. Para ello, el IDPC firmó un convenio con la CVP, institución encargada de manejar los recursos del Subsidio Distrital de Vivienda en Especie -SDVE, quien a su vez contrató a HPHC para la realización de las obras. De esta manera, se conformó un equipo interinstitucional e interdisciplinario que apoyó todo el proceso y desarrolló no sólo tareas de construcción, sino también un plan de acción social.

ESTRATEGIA IMPLEMENTADA

Plan de Revitalización del Centro Tradicional

El Plan de Revitalización del Centro Tradicional de Bogotá –PRCT fue formulado como un plan urbano, liderado por IDPC en el marco del Plan de Desarrollo Bogotá Humana 2012 – 2016 y de uno de los proyectos bandera de la Alcaldía Mayor como fue la Revitalización del Centro Ampliado de Bogotá D.C. por ser el centro tradicional el espacio donde se ubican los principales sectores patrimoniales, grandes áreas de comercio y entidades educativas, así como el centro de política y administración más importante del país.

El PRCT tiene por objetivos: 1. Proteger el patrimonio cultural y generar alternativas sociales y financieras para su mantenimiento, promoción, uso y aprovechamiento sin poner en riesgo su conservación; 2. Mantener la diversidad del centro promoviendo la mezcla social y de actividades; 3. Proteger la permanencia de los propietarios originales, con base en la implementación de mecanismos voluntarios de actuación asociada y participación equitativa en las cargas y beneficios de los proyectos; 4. Operar proyectos urbanos de iniciativa pública y en alianzas con el sector privado, concentrados en mejorar la vivienda patrimonial prioritariamente de los sectores de más bajos ingresos; 5. Cualificar las infraestructuras públicas y el espacio urbano . El mejoramiento habitacional del Barrio Las Cruces hace parte de las iniciativas propuestas por la Estrategia Habitacional del PRCT, respondiendo a estos objetivos y a las necesidades de este sector de interés cultural.

Proyecto Estratégico “Las Cruces es tu casa”

“Rehabilitar el patrimonio arquitectónico, aportar soluciones al déficit habitacional mediante la recuperación en términos de habitabilidad, para oferta de venta o alquiler, de inmuebles destinados a vivienda tipo inquilinato, y recuperar inmuebles sin expulsar a sus habitantes tradicionales son criterios de actuación indispensables en los barrios Las Cruces y San Bernardo en lo que respecta al mejoramiento de vivienda usada”.¹

Reconociendo el barrio Las Cruces como un área de intervención prioritaria, el PRCT formuló el proyecto estratégico “Las Cruces es tu casa”, como un proyecto piloto a través del cual se pudieran materializar todas las estrategias del plan. El proyecto tiene por objetivo revitalizar el barrio a través de su recuperación física e integración social, mediante proyectos e intervenciones en el espacio público (andenes, fachadas, parques), mejoramiento del espacio privado a partir de la rehabilitación de la vivienda existente y construcción de vivienda nueva, todo en articulación con la estrategia de desarrollo local, que busca fortalecer la economía popular, el emprendimiento cultural y las actividades socioculturales.

MEJORAMIENTO HABITACIONAL

Primera acción de revitalización

Debido a que el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural como institución adscrita a la Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte de Bogotá, tiene entre sus responsabilidades la protección, intervención, investigación, promoción y divulgación del patrimonio cultural tangible e intangible y de los bienes de interés cultural –BIC de la capital del país, sin embargo no tiene la facultad para realizar el tipo de acciones que requeridas para el mejoramiento de las viviendas, se hizo necesario encontrar un socio o aliado estratégico para el proyecto antes de iniciar la recuperación de las viviendas.

El IDPC realizó una importante gestión interinstitucional con el fin de suscribir un convenio con la Caja de la Vivienda Popular -CVP, por ser esta institución pública la encargada de ejecutar las políticas de la Secretaría Distrital del Hábitat de Bogotá en los programas de Titulación de Predios, Mejoramiento de Vivienda, Mejoramiento de Barrios y Reasentamientos Humanos, a través de la aplicación de instrumentos técnicos, jurídicos, financieros y sociales que elevan la calidad de vida de la población de estratos 1 y 2² que habita en barrios de origen informal o en zonas de riesgo.

Así, la CVP destinó un total de \$1.591.650.000COP (526.133,98 USDaprox.) para la intervención de 150 viviendas, mediante la implementación del SDVE modalidad Mejoramiento Habitacional. El objetivo de este subsidio es brindar solución a carencias básicas de saneamiento, mediante reparaciones locativas en baños, cocina, cubiertas, pisos y techos, para disminuir las condiciones de insalubridad³. No obstante, el SDVE es un programa concebido para mejorar viviendas informales en la periferia y no para mejorar viviendas patrimoniales, lo cual representó un reto adicional para el proyecto en Las Cruces.

El IDPC se comprometió con la comunidad, apoyando desde el inicio a las familias en el proceso de postulación al SDVE, hasta el acompañamiento técnico durante la ejecución de las obras; para esto, el instituto realizó diferentes jornadas de convocatoria, instaló un punto de atención con asesoría jurídica y designó un profesional especializado en conservación de patrimonio cultural inmueble para realizar el acompañamiento y asesoría técnica durante la ejecución de las obras.

A la primera convocatoria realizada en el año 2013 se presentaron 369 familias, sin embargo, se identificó una amplia problemática por falta de títulos de propiedad de los inmuebles, y dado que el subsidio se asigna únicamente a propietarios, muchas familias que no tenían ningún documento para demostrar esta condición fueron descalificadas. Se realizaron 10 convocatorias más para completar el cupo de SDVE asignado y se llevó a cabo un permanente trabajo de apoyo jurídico a las familias, con el fin de asesorarlas para cumplir con los requisitos de acceso al subsidio.

Ejecución de obras un reto patrimonial

El responsable de la ejecución de obra fue la ONG – Hábitat para la Humanidad Colombia -HPHC, organización que tiene por objetivo promover el acceso a una vivienda adecuada, para romper el ciclo de pobreza de la población vulnerable. HPHC además de contar con un equipo técnico, acompañó permanentemente a la comunidad con un profesional social durante el proceso de obra, el que se desarrolló en tres fases: una primera etapa de diagnóstico y valoración del inmueble en la que se decide, conjuntamente entre el equipo técnico y los habitantes de la vivienda, los espacios a mejorar; en la segunda fase de ejecución de obras y en la tercera fase el equipo técnico y social de HPHC realizó el trámite de liquidación, etapa en la que el propietario acepta las obras realizadas y se compromete con su cuidado.

Las obras iniciaron en junio de 2014 con un primer grupo de 23 viviendas. Siendo la primera vez que se aplica este subsidio distrital a un sector patrimonial y considerando los recursos reducidos, claramente decidir cuáles serían las actividades a ejecutar se convirtió en un reto, con el objetivo de maximizar el presupuesto para mejorar el máximo de espacios con buena calidad. Para el 2014, cada subsidio equivalía a \$10.611.000 COP (\$5300 EU aproximadamente)⁴, de los cuales el 69.5% corresponde a los costos directos (materiales y pago de mano de obra), y el 30.5% a gastos Administrativos, Imprevistos, Utilidades (AIU), interventoría y elaboración de diseños. A pesar de esta limitación presupuestal, se logró dar cobertura a un 12,66% de los Bienes de Interés Cultural de arquitectura doméstica en el sector.

Con el diagnóstico de las viviendas se encontró que la prioridad de intervención en la mayoría de los casos, eran las cubiertas, los baños y las cocinas (Fig.1 y 2); las cubiertas fueron el elemento recurrente de mayor complejidad para intervenir, ya que están conformadas por estructuras de madera y teja de barro. En ese momento se reconoció la dificultad de aplicar un SDVE que no había sido pensado nunca para intervenir viviendas patrimoniales, con un subsidio escaso, conservar las técnicas y materiales tradicionales especialmente en las cubiertas (algunas con áreas de más de 150 m²) resultaba con un costo mayor al del subsidio, por lo cual no era posible dar cobertura a todos los problemas de las viviendas con casos de deterioro agudo.



Figuras 1 y 2. Imágenes del estado de las viviendas

La comunidad

Los residentes de las viviendas y las organizaciones sociales del barrio fueron actores claves para el desarrollo del proyecto. La expectativa de la comunidad era alta desde el inicio de las convocatorias, por lo que mantener una comunicación clara y constante con ellos fue vital, y se logró en gran medida con la instalación en el barrio de un punto de atención a la comunidad gestionado por las instituciones responsables del proyecto. Allí se realizaron entre otras actividades, las asesorías jurídicas para que las familias avanzaran en la solución de problemas de títulos de propiedad. El IDPC en convenio con la Universidad Libre, logró que estudiantes de último semestre de la Facultad de Derecho, bajo la coordinación de un abogado, apoyaran esta acción; gracias a la que 43 personas superaron obstáculos y lograron recibir el SDVE.

Los integrantes de la comunidad participaron desde el inicio de las obras de mejoramiento: durante la fase de diagnóstico, tuvieron el derecho de priorizar en conjunto con el constructor las obras a ejecutar en sus viviendas, también se hicieron responsables del cuidado de los materiales durante el transcurso de la obra. Así mismo, se convirtieron en veedores del proyecto, reportando los errores que encontraban en la ejecución de las obras y verificando que fueran corregidos.

Muchos residentes fueron pacientes y estuvieron satisfechos durante el proceso, mientras que otros estuvieron en desacuerdo, debido a que imaginaban que se iba a mejorar toda la casa y por tanto, al ver que el subsidio no era suficiente, estaban en desacuerdo con el valor asignado. Adicionalmente, por causa del alto deterioro de las viviendas, los habitantes no estaban de acuerdo en conservar la teja de barro, las estructuras de madera e incluso los muros de tierra, ya que los consideraban elementos sin valor, de baja resistencia y durabilidad. Por esto, la comprensión del proyecto se convirtió en otro desafío constante, al requerir procesos de sensibilización en temas relacionados con la aplicación del subsidio, el valor y propiedades de los materiales y el patrimonio construido. Por lo anterior, se realizaron talleres con la comunidad para promover la conservación de las cubiertas de teja de barro, aumentar los conocimientos sobre la tierra como material

de construcción y el valor del patrimonio tanto material como inmaterial de su barrio (Fig. 3 y 4).



Figuras 3 y 4. Talleres sobre el material tierra y patrimonio, realizados con la comunidad

Los resultados

Con 13 meses de ejecución de obras, se realizó el mejoramiento de 107 cubiertas, 46 cocinas, 66 baños, 24 pisos, 15 cielo rasos y entrepisos, etc. Pese a las dificultades del presupuesto, en algunas viviendas se logró realizar el mejoramiento de las cubiertas conservando la teja de barro (Fig. 5 y 6), mientras que en otros fue imposible por los bajos recursos o porque al desmontar las tejas, los propietarios las vendían ya fuera como una fuente de dinero extra o para asegurar que su casa no volviera a tener este material. El mejoramiento en baños y cocinas fue una actividad fundamental, ya que algunas viviendas carecían de estos espacios o los tenían pero con pésimas condiciones de salubridad (Fig. 7 y 8).



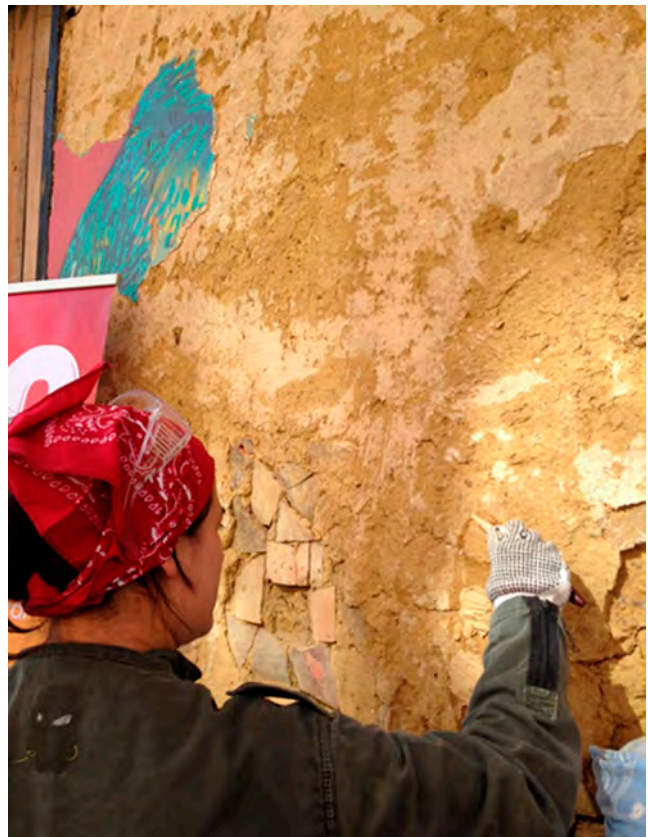
Figuras 5 y 6. Imágenes de algunas cubiertas, antes y después de la intervención





Figuras 7 y 8. Imágenes de algunos baños y cocinas, antes y después de la intervención

De otra parte, aunque los muros de tierra no generaban en ningún caso un problema en sí mismo para la habitabilidad del inmueble, aquellos que se encontraron afectados por recubrimientos con cemento u otros materiales habían desencadenado principalmente problemas de humedad, fueron intervenidos recuperando los pañetes con cal y arena, realizando de forma paralela actividades de capacitación y sensibilización con los propietarios y la comunidad (Fig. 9 y 10).



Figuras 9 y 10. Imágenes de intervención de muros de tierra

En junio de 2015, la CVP realizó un estudio de satisfacción con 123 beneficiarios del proyecto, en el que se identificó que 107 familias estuvieron satisfechas con las obras y adicionalmente 54 de las 123, continuaron realizando obras de mejoramiento a sus viviendas con recursos propios. Para esa fecha, el proyecto había beneficiado 500 personas, 238 hombres y 262 mujeres, de los cuales 202 eran adultos (27-59 años) y 117 mayores de 60 años.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE DESARROLLO A FUTURO

Un programa de mejoramiento habitacional es valioso, debido a que no solo mejora las condiciones de saneamiento básico de las viviendas, las condiciones de salubridad sino también la condiciones de convivencia entre los ocupantes de la vivienda, la debida definición y separación de espacios evitan la generación de conflictos y violencia al interior de ellas, además genera apropiación de parte las familias por su patrimonio. Sin embargo, su aplicación en un sector de interés cultural de estrato económico muy bajo, requiere que el monto de los recursos sea mayor, para que el mejoramiento de las viviendas sea integral; De otra parte, se reconoce que la cubierta es uno de los elementos más deteriorados en este tipo de vivienda, por lo cual es importante desarrollar un programa especial para su rehabilitación, debido a los altos costos y la complejidad de su intervención.

Lo anterior requiere una fuerte gestión con entidades públicas o privadas, para tener una intervención eficaz; si los recursos se gestionan, sería conveniente que el IDPC intervenga de manera más directa en el proceso de ejecución de obra, considerando el conocimiento técnico sobre inmuebles y sectores patrimoniales, con el fin de disminuir imprevistos de obra y tiempos de ejecución.

Replicar un proyecto de mejoramiento habitacional en otro sector de interés cultural, requiere realizar un estudio de factibilidad con la evaluación de los inmuebles y de su situación legal, lo cual brindará un panorama más claro sobre los riesgos y beneficios del proyecto.

Las acciones de mejoramiento deben estar enmarcadas dentro de un plan urbano que busque la protección y consolidación del sector de interés cultural, para que la intervención de las viviendas no resulte como hechos aislados y puntuales. Aunque la recuperación del barrio se proyecta a 20 años, estas actuaciones iniciales son un primer paso que debe ser continuado en las próximas administraciones; la gestión continua que se realizó con “Las Cruces es tu Casa”, logró que la administración distrital focalizara el barrio como prioritario y muchas instituciones se sumaran a su recuperación, con lo que la población ha vuelto a creer que es posible que su barrio vuelva a ser importante para la ciudad.

BIBLIOGRAFIA

- Estudio de valoración social del Área Prioritaria de intervención -API Las Cruces. Caja de la Vivienda Popular Componente participación 2015.
- Reglamento Operativo Subsidio Distrital de Vivienda en Especie – SDVE – Resolución 575 de 2015 expedida por la Secretaría Distrital de Hábitat y Territorio.
- Ceballos R. Olga L. (2006) Rehabilitación de vivienda y recuperación del patrimonio construido. El caso de Bogotá. Revista Scripta Nova, 2006. Bogotá D.C.

¹ Ceballos R. Olga L. (2006) Rehabilitación de vivienda y recuperación del patrimonio construido. El caso de Bogotá. Revista Scripta Nova, 2006. Bogotá D.C.

² Todas las viviendas del Barrio Las Cruces pertenecen al Estrato 2. Base Catastro Distrital. Secretaria Distrital de Planeación.

³ Reglamento Operativo Subsidio Distrital de Vivienda en Especie – SDVE – Resolución 575 de 2015 expedida por la Secretaría Distrital del Hábitat y Territorio.

⁴ Ibid.



Quelle perception de l'architecture traditionnelle africaine aux yeux de la nouvelle génération ?

Abdoulaye CISSE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

« Quelle perception de l'architecture traditionnelle africaine aux yeux de la nouvelle génération ? » La problématique que je me suis posé depuis la fin de mes études en architecture se matérialise dans ce questionnement. C'est dans cette optique que j'envisage de mener des recherches pour pouvoir détecter des pistes pouvant aider à concilier l'architecture contemporaine et le patrimoine bâti en terre.

La conférence Terra 2016 serait une opportunité d'approfondir mes réflexions concernant cette préoccupation.

L'objectif visé pour cet essai est de développer les voies et moyens adéquats pour concilier l'architecture traditionnelle bioclimatique héritée de nos ancêtres et celle actuelle hybride réalisée avec de matériaux importés de tout bord.

Quel avenir pour l'architecture de terre en dehors des pratiques traditionnelles de conservation ?

La nouvelle génération est-elle capable d'assurer la conservation de ce patrimoine bâti en terre multiséculaire ? De quels moyens et stratégies doit-elle disposer ?

L'Afrique a su garder ses cultures constructives locales et savoir-faire dans le domaine de l'architecture en terre. Cette architecture qui fait une des beautés de l'Afrique d'aujourd'hui est à la croisée des chemins.

Le monde globalisé s'est lancé dans une course d'innovations technologiques y compris dans le domaine de l'architecture. L'Afrique qui a su préserver certaines de ces valeurs architecturales en terre en pleine mutation.

L'architecture contemporaine faite de matériaux locaux ou de matériaux importés se montre plus consommatrice d'énergie dans une dynamique où l'effort physique fait place à la machine. Les rites, et les pratiques socioculturelles d'entraide diminuent. L'architecture de terre en Afrique subit les effets du temps et des mutations socioculturelles qui contribuent à son amenuisement progressif.

INTRODUCTION

Dans l'aménagement spatial, l'architecture aussi bien que l'urbanisme occupe une place de choix. Ils contribuent à modéliser l'espace habité par différents modes d'intervention, à le délimiter et à le structurer pour donner un sens et un contenu réel à l'organisation du territoire et du paysage attenant. De par cet art de construire et de transformer l'environnement en fonction de ses valeurs culturelles et sa conception philosophique du monde, l'homme réalise des formes d'habitats et des constructions spatiales adaptées, qui reflètent les liens indéfectibles entre le tangible et l'intangible, et le besoin de survie au sein d'une entité rurale ou urbaine habitée. A partir de ses connaissances et savoir-faire, il exprime les valeurs et expressions artistiques et architecturales de sa communauté dans le domaine de la construction. C'est pourquoi il est généralement admis que la culture influence toute intervention de l'homme sur l'environnement au sein de l'espace.

Le constat simple est que les constructions en terre sont en perte de vitesse surtout dans les pays africains ; cela est fondamentalement dû au fait que les bâtisseurs contemporains (architectes, urbanistes et entreprises du bâtiment) puisent très rarement dans les savoirs et savoir-faire qui fondent les cultures constructives locales ancestrales. Dans ces conditions l'on peut constater que le dépérissement progressif des constructions en terre et la mort lente des techniques et pratiques de la maçonnerie traditionnelle.

Pourtant, tous les discours des décideurs de ce monde, au Nord tout comme au Sud, mettent l'accent sur le développement harmonieux et durable, dont le dernier pilier accepté est la culture. Le rapport étroit entre culture et développement, s'exprime mieux

dans la sphère des cultures constructives qui intègrent à la fois les dimensions environnementales et spatiales et le bien-être lié au mode d'habitation dans des conditions bioclimatiques. En cela la prise en compte des matériaux et substances utilisées dans l'art de bâtir a toujours permis à différentes communautés d'aménager leurs espaces bâtis en fonction des ressources naturelles tirées des éléments de la diversité biologique.

1. L'ARCHITECTURE TRADITIONNELLE AFRICAINE (constructions en terre en Afrique)

Les sociétés africaines anciennes sont connues pour le caractère exceptionnel de certains éléments significatifs de leur patrimoine architectural et paysager. Au sein de ce patrimoine architectural africain, les constructions en terre occupent une part importante. L'architecture en terre est représentée par des édifices monumentaux et des constructions de qualité qui ont résisté à l'épreuve du temps. Les mosquées en terre du Mali (Djenné, Tombouctou, Gao) et les greniers Toloy (2^{ème} – 3^{ème} siècle) n'ont rien à envier aux cathédrales médiévales européennes ou à certaines constructions emblématiques asiatiques de la même époque (MachuPichu, le Taj Mahal...)

L'architecture en terre africaine est très bien représentée dans la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. Ces valeurs lui a permis d'être inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO et bénéficie plusieurs avantages concernant sa sauvegarde et sa mise en valeur. Ces biens du patrimoine mondial sont très connus et appréciés dans le monde entier à cause de la valeur universelle exceptionnelle qui leur est attribuée.

Pour illustrer ce témoignage nous allons présenter quelques représentations typiques au Mali, inscrits sur la liste du patrimoine mondial et témoins de cette architecture célèbre intégrée à un contexte si particulier et unique de son genre.

1.1 Le site du pays dogon



Fig.1 : Site de Banani Amou, falaise de Bandiagara.

Les Dogons ont une pratique singulière d'aménagement de l'espace et de l'habitat notamment dans la région des falaises et sur le plateau de Bandiagara. Dans cette tradition ancestrale d'occupation harmonieuse de l'espace habité et d'aménagement du paysage, une place de choix est faite aux techniques d'imbrication des éléments culturels et naturels qui composent leur environnement. En effet, dans la gestion de l'environnement, on remarque facilement que culture et nature restent indissociablement liées au sein de l'organisation spatiale.

Le pays dogon possède une diversité de styles de construire assez intéressants les uns plus que les autres ; cet ensemble reflète les cultures constructives locales qui ont produit les architectures traditionnelles encore très présentes sur le site du pays dogon. Celles-ci illustrent bien une vraie inventivité et une grande créativité. Elles illustrent aussi la faculté extraordinaire des Dogons à utiliser au mieux les caractéristiques de l'espace naturel, de l'aménager et l'adapter aux réalités socioculturelles ainsi qu'aux croyances et préceptes religieux. A chaque région du site classé du pays dogon correspond un type architectural particulier adapté au paysage naturel, cela peut être constaté à travers les modes de construction ; le mode d'utilisation des matériaux, de l'habitat...

L'aspect regroupé, fortifié et défensif de certaines architectures haut-perchées, spécifiquement dans la région des falaises, semble indiquer un habitat-refuge de populations vivant dans la crainte d'attaques ennemies.

Le pays dogon est divers dans sa composition architecturale, ce qui nous permet de distinguer les différentes pratiques de constructions dans les trois régions naturelles du pays dogon, à savoir : le plateau la falaise et la plaine. Constituées par des caractéristiques physiques et de modes d'adaptation différents, les techniques constructives nécessitent l'utilisation de matériaux différents et des savoirs et savoir-faire adaptés au contexte topographique du relief et de l'environnement de chaque région naturelle. Les cultures constructives locales permettent de mesurer les capacités de l'homme à utiliser de façon efficiente les ressources de son environnement, dans la quête permanente d'un minimum de confort et de protection contre les phénomènes et aléas climatiques souvent capricieux dans la zone sahélienne.

1.2 Site « Villes anciennes de Djenné »



Fig.2 : Vue de la mosquée et environs

1.3 La Cité mystérieuse de Tombouctou

Tombouctou est une ancienne ville située au carrefour du nord et du sud, qui s'est surtout développée à cause du commerce transsaharien entre l'Afrique arabe du Nord et l'Afrique Noire subsaharienne.

La Cité des 333 saints est reconnue dans le monde entier en tant que ville d'intellectuels et d'érudits, qui a su conserver une architecture remarquable depuis le 11^{ème} siècle.

La remarquable architecture de la cité se repère dans les quartiers de la médina (Sankoré, Badjindé, Djingarey Ber, Saraikeina) avec une superficie de 54 hectares environ. Le tissu du noyau ancien de la ville de Tombouctou présente un aspect très compact avec des ruelles étroites non accessibles aux automobiles, la circulation y est piétonne ou à cheval. L'habitat s'organise autour des îlots de formes irrégulières dans lesquels les maisons s'emboîtent les unes dans les autres. Les habitations faites majoritairement de banco et de pierre alhore présente de formes orthogonales avec de murs porteurs érigés sur les limites mitoyennes ou sur la rue. Elles s'organisent autour d'une cour intérieure ou deux cours intérieures sur lesquelles se donnent le vestibule, la véranda, le salon, les chambres, les magasins, la cuisine, et la toilette au rez-de-chaussée. L'étage est quasiment occupé par une grande terrasse non couverte qui permet l'accueil du public et souvent un salon, une chambre et une toilette. Elles présentent une façade assez fermée sur l'extérieur dont la hauteur varie entre le niveau du rez-de-chaussée et celui de l'étage ; ne comportant que de petites fenêtres en bois algaloum avec de moucharabié et un portillon situé en plein cintre permettant l'accès de la concession par le vestibule. Cette configuration de l'architecture tombouctienne lui permet de s'adapter au climat chaud et sec du désert. Il existe d'autres types d'habitat bioclimatique que celle connue dans la médina, fait de nattes végétales et de bois en forme semi-ovale. Cette forme d'habitat temporaire occupé par de nomades ou des communautés moins aisé qui travaillent pour les arabes.

- **La mosquée Djingarey ber :**



Fig.3 : Photo de la mosquée Djingarey Ber-Tombouctou 2015

La mosquée Djingarey ber (« grande mosquée » en langue Songhaï) est l'ainé des trois célèbres mosquées de style tombouctien. Construit en 1333 à la demande de l'empereur Kankou Moussa à l'architecte-poète Es Sahéli. Il s'inspira des pyramides pharaoniques et surement parce qu'il était un architecte intelligent il choisit de ne pas se départir des techniques, du savoir-faire et des matériaux locaux, et l'ingéniosité des maçons traditionnelles ont permis d'offrir ainsi un objet cohérent avec l'époque. Hormis une petite partie de la façade nord en calcaire, Djingareiber est entièrement construite en banco. Ses piliers massifs, sa cour intérieure, sa terrasse et son minaret principal de forme pyramidale lui ont valu d'être trouvée remarquable et sont devenus la constante du style architectural soudanais ; admis comme le prototype idéal d'une architecture musulmane africaine.

- **La mosquée-université de Sankoré :**



Fig.4 : Photo de la mosquée Sankoré -Tombouctou 2015

Le quartier « Sankoré » qui signifie noble blanc est le noyau autour duquel s'est développé la mythique université de Tombouctou qui accueillait jusqu'à 25. 000 étudiants. Initié à la demande d'une riche et pieuse femme opta vers 1300 de faire construire un édifice à l'image de l'émulation spirituelle, intellectuelle et artistique qui y était perceptible. La mosquée subit des travaux entre 1578 et 1582, à l'initiative de l'Iman Al-Akib qui la voulait aux mêmes dimensions que la Kaaba. C'est sûrement à cette occasion que Sankoré acquies cette massivité caractéristique du style tombouctien. Il n'est pas exclu non plus qu'elle subit alors l'influence esthétique de la mosquée sœur de Djingarey ber. Avec son minaret imposant (environ 15 mètres), signale de loin au voyageur qui émerge du désert Sankoré et son centre universitaire.

- **La mosquée Sidi Yehia**

Fig.5 : Photo de la mosquée Sidi Yehia-Tombouctou. 2015

La mosquée et medersa SIDI YEHIA située en plein cœur de la ville de Tombouctou, sa Construction a été commencée en 1400 par le cheikh El-Mokhtar Hamalla dans l'attente d'une grande sainte personne. Il a fallu 40 ans pour terminer, donc elle a commencé à être fonctionnelle en 1441 avec en sa tête l'imam Sidi qui a donné son nom à la mosquée.

Ensuite la mosquée a subi de travaux successifs en 1577 ou 1578 par Cadi Al Akib et sa forme originale a été modifiée en 1939 afin de réduire son apparence comme une forteresse militaire. L'original minaret, est cependant toujours en place sous laquelle se reposent le saint imam Sidi Yahya et Mohamed Naddah (Gouverneur et ami du saint), dont on dit qu'ils sont morts une semaine d'intervalle.

Construite en boue de terre crue « Koiraferey » au début, la mosquée a subi plusieurs du XV^{ème} siècle à nos jours ce qui témoigne la présence de pierre alhore.

2. ARCHITECTURE CONTEMPORAINE

Qu'est-ce que l'architecture contemporaine dans les villes africaines ?

Quels sont les éléments intégrateurs d'une bonne architecture contemporaine ? S'agit-il d'un concept créatif? Ou plutôt d'une architecture moderne qui intègre des valeurs culturelles locales par l'utilisation des matériaux locaux disponibles durables et économiquement viable tout en respectant le contexte paysager.

La perception de l'architecture contemporaine à partir du cas des tissus anciens et des villes inscrites sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, nous amène à penser qu'il s'agit d'une architecture qui se réalise sur le principe de l'utilisation des matériaux locaux améliorés durables et qui valorise les savoirs techniques et les connaissances traditionnelles liées aux constructions locales. Tout cela doit se fonder sur des principes scientifiques de validation des matériaux utilisés dans le respect strict des ressources de l'environnement dans une dynamique de leur préservation. Il s'agit également de respecter les normes de construction qui prennent en compte certaines exigences du mode contemporain de l'espace habité : avoir de l'espace organisé pour certaines commodités. L'architecture contemporaine réalisée avec des matériaux locaux ne doit pas être considérée comme une simple enveloppe extérieure des ouvrages. Plus qu'une simple coque visible, elle doit évoluer vers un projet dynamique qui concilie à la fois techniques anciennes et modernes de construction et valorisation des matériaux utilisés écologiquement acceptables et nécessitant très peu de travail de maintenance et d'entretien.

Il est temps de penser une nouvelle architecture qui s'inscrit dans les dynamiques sociales et environnementales actuelles. L'heure est aux concepts flexibles. A une architecture intelligente qui s'inspire des valeurs de l'art de bâtir d'hier, doit se substituer une architecture de demain répondant à des nouvelles sociétés urbaines et rurales techniquement mieux outillées. Cette architecture contemporaine faite sur la base du matériau terre est celle « qui permet à l'Homme de changer ».

Les temps modernes voient se créer dans les villes africaines une architecture « étrangère », c'est-à-dire impropre et inadaptée au contexte à la fois économique et bioclimatique, issue d'influences extérieures importées par des techniciens africains du bâtiment (architectes, urbanistes et ingénieurs) de la construction formés hors du contexte architectural africain.

L'architecture contemporaine africaine telle que perçue, se trouve en porte à faux avec le modernisme mal cerné et mal compris. ; Donc il ne peut y avoir de qualification technique, conceptuelle, esthétique, contextuelle, économique, la ville moderne se cherche de nouveau. La forme architecturale devient plus complexe que la case ronde, les formes organiques et figures géométriques inspirées de la nature. Elle se trouve maintenant métamorphosée avec l'utilisation des outils de la nouvelle technologie plus facile, grâce aux ordinateurs. Elle peut, dans une autre formulation que le système existant depuis l'antiquité (murs et baies, surmontés d'un toit), devenir une architecture à enveloppe

extérieure globale. Cette enveloppe peut être constituée avec de la terre fournissant un environnement parfois identique à celle typique de l'habitat traditionnelle avec un style semblable.

3. MATERIAUX UTILISES ET TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

Depuis la période préhistorique ou même bien avant, l'homme a toujours cherché à se mettre à l'abri de certains phénomènes naturels, en adoptant des solutions simples avec les moyens et techniques du bord.

L'Afrique connue pour ses pratiques ancestrales de conservation des biens et des cultures constructives, a su sauvegarder les techniques léguées par les anciennes générations qui possédaient plusieurs manières et méthodes de compréhension et d'interprétation du monde aux ressources diversifiées. Une des raisons pour lesquelles les matériaux de construction sont identifiés et utilisés localement est la garantie et l'adaptabilité reconnues de ceux-ci pour réaliser des constructions à fois durables et bioclimatiques. Ces matériaux même souvent périssables, offrent l'opportunité de renouveler ou améliorer les savoirs et connaissances ancestrales, par l'utilisation d'autres matériaux ou adjuvants dont la ténacité et la fiabilité sont testés lors des travaux d'entretien communautaires organisés de façon cyclique.

Quant au matériau terre, il reste une matière universellement exploitée par plusieurs communautés à travers le monde, malgré le caractère fragile et éphémère qu'on lui attribue souvent à tort. Le matériau terre a besoin de mélange avec d'autres composantes, et d'entretien permanent pour pouvoir garantir sa durabilité. Des expériences et tests réalisés ont montré la nécessité d'ajouter certains éléments comme le beurre de karité, la bouse de vache, la balle de riz, la paille... qui pourront beaucoup contribuer à la rendre rigide et imperméable.

La terre, en tant que matériau le plus abondant et le plus accessible dans la nature, est utilisée depuis que l'homme a pensé à s'abriter par la construction des maisons. L'adobe est certainement la forme de construction en terre la plus populaire et la plus ancienne. Les briques d'adobe sont réalisées à partir de boue humide additionnée à de différentes composantes. On laisse sécher ces briques au soleil, avant de s'en servir pour construire. Le mortier utilisé pour construire est issu du même mélange de boue. Pour assurer une bonne isolation, les murs faits en adobe doivent être épais mais renforcés par d'autres liants qui assurent sa ténacité.

Ces enduits sont généralement préparés pour qu'ils puissent parfaitement adhérer aux bâtis et pour éviter aussi les craquellements au séchage. Dans l'essai de tous les alchimistes, on y trouve différentes formules et compositions, la plus commune étant un mélange argile-bouse de vache. Il existe d'autres mélanges beaucoup plus complexes à la cendre, à la poudre de baobab, à la latérite, au crottin d'âne...

L'architecture ancienne au Mali et dans d'autres régions sahéliennes réalisée à partir de briques de terre crue revêtues d'un enduit en argile présente dans son squelette des murs droits avec des ouvertures bien dessinées ; les angles des piliers présentent des arêtes vives ; l'ornementation des façades, des porches, et des toitures étant bien visible. Après la saison des pluies, le bâti commence à perdre sa forme, l'arrondi des angles, et ses motifs décoratifs. Comme la pluie ne ravale pas de la même manière toutes les parties du bâtiment, celui-ci prendra au cours des années et des réfections des courbures d'une sensualité étonnante.

Contrairement à la pierre qui possède une certaine endurance dans sa composition organique, est utilisée de différentes manières à soutenir les greniers souvent décollés du sol, les habitations, et ainsi que les toguna, dans les concessions ils sont agencés les

unes sur les autres de manière à constituer un mur, un poteau, un escalier. Les pierres sont ramassées ou extraites des éboulis puis taillées pour avoir diverses formes à l'utilisation. Revêtue de terre ou non la pierre reste un matériau dur et conducteur de température, qui ne nécessite pas d'entretien perpétuel au cours des années.

Les bois sculptés ou non jouent différents rôles de structures et de décoration dans la toiture, ainsi que pour le reste du bâtiment. Utilisés comme piliers supportant les charges verticales de l'édifice, comme poutres, traverses, et charpentes dans la toiture ; sculpter pour embellir les ouvertures (portes et fenêtres) ; ils peuvent servir d'échelle pour l'accès des toitures et des greniers à ouverture surhaussé.

Autre fois les hommes s'inspiraient de leur environnement pour concevoir leurs demeures tout en adoptant les matières trouvées sur place. Ils connaissent la terre, la pierre, le bois, le bambou, le roseau, la paille... comme matériaux utilisés dans la construction de ces locaux.

De nos jours tout converge vers l'industrie tenant compte des progrès technologiques réalisés par l'homme contemporain, Les matériaux locaux sont entrain de céder aux matériaux industrialisés plus abordables et utilisables par les maitres d'œuvres.

4. COMMENT CONCILIER LES NOUVELLES CONSTRUCTIONS AVEC LES VALEURS DU PATRIMOINE ARCHITECTURAL AUTHENTIQUE ?

Concilier les impératifs de développement du patrimoine architectural des sociétés africaines avec la nécessité de préserver le paysage culturel constitue un enjeu majeur pour les acteurs de la conservation et de l'aménagement du territoire et pour les communautés locales.

L'intervention sur un espace habité comprenant des constructions en terre exige une approche de conception qui doit concilier des objectifs qui sont, tout au moins en apparence, opposés, entre conservation, création moderne et développement urbain. La démarche doit donc, d'une part, reposer sur une vision contemporaine et tenir compte, d'autre part, d'une compréhension intelligente de l'histoire de l'architecture et des cultures constructives.

Tout projet de développement urbain et de l'architecture doit déterminer les aspects patrimoniaux paysagers et urbanistiques à conserver et à mettre en valeur. Mais dans un monde en transformation, il s'agit aussi d'imaginer une nouvelle architecture en terre qui se fonde sur une perception des nouvelles dynamiques socioculturelles et économiques, des modes de vie et des enjeux environnementaux à la lumière des changements climatiques en cours. La démarche, si elle est bien comprise, ouvrira la voie vers l'exploration et la conciliation entre deux systèmes de gestion de l'espace et des connaissances pour établir un rapport créatif qui rime avec l'évolution de l'ensemble des valeurs techniques et culturelles. Pour utiliser une analogie : il s'agit de créer une relation de symbiose entre le nouveau et l'existant.

Depuis quelques années, au niveau international aussi bien que national, le patrimoine architectural en terre est perçu sous l'angle des valeurs qui peuvent être associées aux conditions de vie des générations actuelles. Cette approche tient compte du développement de la recherche dans certains domaines tels les sciences techniques, humaines et sociales qui encouragent certaines pratiques améliorées d'utilisation des matériaux locaux et de valorisation de certains savoirs et savoir-faire dans le domaine de la maçonnerie et de la construction en général. Il n'y a pas de valeur absolue indiquée pour assurer la pérennité des constructions en terre héritées mais des valeurs relatives que l'on ne peut analyser et conseiller, suivant une démarche qualitative pour répondre à la fois de préserver les connaissances et pratiques ancestrales liées à l'art de bâtir. Par le

fait même, l'on comprend que les valeurs patrimoniales de l'architecture de terre n'ont de sens que si elles peuvent être utiles aux générations actuelles et à venir soucieuses d'un développement urbain harmonieux et d'un bien-être conçu dans un développement global du monde en tant que village planétaire.

Le patrimoine architectural, parfois présenté comme une contrainte qui limite le travail de conception, doit plutôt être vu comme une ouverture vers l'organisation d'un espace de création au profit des architectes. Plusieurs raisons sont évoquées pour expliquer le refus des générations actuelles à tomber dans le conservatisme surtout en milieu rural au Mali. Dans un contexte où la population est très impliquée et prend position sur la qualité de vie au sein de l'espace qu'il habite, il y a une responsabilité sociale à concilier les attentes légitimes d'un promoteur et celles autant légitimes du bénéficiaire et de sa communauté. La notion de valeurs ne conduit pas qu'à réfléchir sur le passé mais elle peut servir d'appui à une réflexion sur le rapport identitaire avec le présent. Autrement dit, élargie dans une perspective plus vaste, elle ne conduit pas qu'à déterminer le « qui nous avons été » mais le « qui nous sommes aujourd'hui » et « que retenons-nous de l'histoire ? » La conservation du patrimoine architectural en terre en Afrique subsaharienne et ailleurs s'inscrit nécessairement dans une longue réflexion élargie sur la notion de durabilité, de viabilité et de confort aussi bien en ce qui concerne l'utilisation des matériaux de construction, que dans le sens d'une adaptation écologique et sociale moderne. Ceci pourrait bien assurer la préservation et la conservation durable du patrimoine bâti en terre à travers le monde.

5. VILLES AFRICAINES ENTRE TRADITION ET MODERNITE

Les villes africaines témoins d'un passé historique bien conçu et adapté aux modes de vie, se trouvent « coincées » entre cette dualité apparemment antagonique « tradition et modernité ».

L'architecture traditionnelle n'arrive à se développer pourvu qu'elle soit confrontée à une violente pression des modèles véhiculés par d'autres formes de civilisation considérés comme des signes de progrès. Elle se trouve maintenant en perte ses repères et de ses valeurs parce que la société elle-même a perdu ses fondements. Il n'est plus évident que les modes de vie restent pareilles, mais l'évolution s'étend sur d'autres sens. Les maçons traditionnelles porteurs de savoir faire ancestrales sur la construction en matériaux locaux se retrouvent de plus en plus en chaumage par l'abandon du système par ses clients. Si la population a d'autres aspirations, cela ne veut pas dire qu'il ne faut pas travailler sur l'évolution de l'architecture traditionnelle.

Les politiques publiques en Afrique concernant cette évolution ont été des échecs. Sur l'utilisation des matériaux traditionnels, l'Afrique n'est pas la seule à se poser des questions. Le béton est le matériau le mieux appliqué et voir même maîtrisé alors qu'on n'a pas encore la maîtrise complète des constructions en terre à moins d'y mettre beaucoup de moyens. Nous ne cherchons pas à enfermer l'Afrique dans ses traditions, mais il nous revient de chercher des pistes pour la promotion des matériaux locaux moins chers et efficaces et qui permettent de loger des familles qui n'ont pas les moyens de construire des maisons plus coûteuses. En fait les villes africaines classées patrimoine mondial sont en perte énorme de leurs valeurs universels par la faute de constructions décontextualisés.

CONCLUSION

Au cours de la réflexion, nous nous sommes rendu compte que l'architecture traditionnelle a toujours été porteuse de remarquables qualités écologiques.

Les solutions techniques anciennes nous ont beaucoup enseigné sur de nombreux points, notamment ceux relatifs aux contraintes climatiques locales. A partir de cette vision, il y a l'utilisation des matériaux locaux tels la pierre, le bois et la terre qui est mise en exergue. Les connaissances techniques proposées permettent, avec des matériaux locaux, de faire des économies substantielles dans le domaine de la construction traditionnelle, et en même temps, de créer un meilleur confort de vie et d'habiter.

Les savoirs et savoir-faire vernaculaires liés à ces matériaux nous incitent ainsi à jeter un nouveau regard sur ces vieilles techniques liées aux cultures constructives ancestrales. Les processus traditionnels de bâtir doivent cependant être séparés des formes et styles de l'architecture en terre ancienne, auxquelles elles sont associées dans l'imagerie collective. Par conséquent, la valorisation des matériaux locaux, la capacité à « faire de l'ancien du moderne », l'exercice plastique consistant à assumer le passé pour lui donner ses lettres de noblesse, le devoir éthique et déontologique sont justement les missions cardinales des architectes de la génération montante. « Quels attributs de l'environnement naturel peut-on prendre en compte dans cette nouvelle réflexion sur les outils de conception architecturale en terre ? »

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIES

- Amos RAPOPORT. (1972). *Pour une anthropologie de la maison*, collection aspects de l'urbanisme, Dunod, Paris, 207 p.
- Amos RAPOPORT. (1969-1972). *House, form and culture*
- Getty conservation Ins. (2010). Publication TERRA 2008 , édition du Getty publication/ USA
- *Agbodjinou K. (2005).Le soudanais-Extrait*
- *ALABI FASSASSI Masudi. (1998)- L'architecture en Afrique Noire, Cosmo-architecture, l'Harmattan. 192 Pages*
- *FISA. (2005), « Magie en terre et l'empire du Mali », édition Malaga*
- *Craterre-Convention UNESCO-France. (2006) Patrimoine culturel et développement local*
- *SekénéMody. S. Tombouctou et L'empire Songhay (Epanouissement du Soudan nigérien XV-XVIème siècle. L'harmattan IBSN : 2-7384-4384-2*
- *OUALLET Anne. (2002). Patrimoine Mondial et pauvreté locale, Tombouctou et Djenne au Mali, Annales de la recherche urbaine, N°92, Paris.*
- *UNESCO- WHC-CRAterre. (2013). L'architecture de terre dans le monde d'aujourd'hui », Acte du colloque international de l'UNESCO sur la conservation de l'architecture de terre du patrimoine mondial, France.*
- *Abdoulaye T. (2005). Architecture de Djenné/ Wikipédia.org.*



Rammed Earth Construction Nowadays - Comparing Methodologies and Design Between Portugal and USA

Pilar ABREU E LIMA, Joana MARQUES, Clara PIMENTA DO VALE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Summary

The future of earthen construction depends on the way it is adapted to our comfort needs, to the new standards and building codes. Based on site visits and interviews, this study is a comparative overview of several rammed earth recent works, in Portugal and in the USA. The main goal is to compare different strategies of rammed earth construction, regarding distinct cultures, climate and resources, technical background and methodologies, taking into consideration all the agents involved within the process. A detailed analysis of contemporary rammed earth masterworks was performed in both countries and a very distinct approach was found regarding design and constructive solutions. New strategies have been developed for innovation, combining traditional techniques with modern construction systems and new materials, changing the earthen construction paradigm. Nevertheless, earthen materials are still seen as an alternative and experimental resource, fulfilling some clients' expectations and builders' ambition to make different architecture.

Introduction

This article results from a research project on contemporary earthen construction focusing on two techniques: adobe and rammed earth. A period of ten months stay in the Southwest of the USA, and an ongoing study in the Southwest coast of Portugal (the Alentejo region), were the starting point for this reflection. The USA situation has the major focus in this presentation, as the Portuguese case was already discussed in a previous paper (Marques et al. 2014). After a deep contact with these two realities, followed by a systematic analysis, innovative solutions to design and function.

Among the techniques that use earth as raw material, rammed earth is very common, approached differently according to climate, geography, resources and culture. In both southwest regions of Portugal and the USA, the economical context, combined with the dry and hot climate, has promoted the intense use of soil for construction. In the USA, some remains of indigenous and pre-colonial earth construction techniques can be found, reminiscent of wattle and daub or cob. However, it was only in the 16th century that the Spaniards brought their techniques of adobe and rammed earth, with strong Roman and Arab heritage, from the Iberian Peninsula.

Besides the general misconceptions about earthen construction, still considered weak and of poor quality, it has been gaining new perspectives worldwide, in the last two decades. Rammed earth is a vernacular technique brought with a great success into contemporary construction, allowing a sustainable approach and a unique visual expression. With good behaviour regarding thermal and acoustic parameters, rammed earth can be used both in new construction and in architectural rehabilitation, with a contemporary design, respecting local and traditional styles. The long legacy and enormous contemporary potential, makes it a relevant topic of study.

1. THE CURRENT SITUATION IN PORTUGAL AND IN THE USA

1.1. Background

Casa Grande is one of the most important pre-colonial ruins in the USA (Arizona) and came to notice after 650 years of abandonment and weathering (Fig.1). The main building had three stories made in a type of cob and rammed earth techniques without

using formwork and it is still standing up, which shows how resistant and durable these techniques can be. Despite this evidence and all the cultural influences brought from colonization and emigration periods, what caught the public attention, in the mid 19th century was *“the first book, devoted entirely to earth construction, that has been published in the USA. This book is the American translation, in 1821 by Henry Holland, from the Rural School of Architecture of François Cointeraux (1791)”*¹(Ricaud 2014, 12). Holland’s publication is considered² the promoter of the first wave of interest in earthen construction in the USA, subsequent to other waves up to the present, showing that such techniques have not conquered yet a clear position on the construction world. With the industrial revolution, earthen construction techniques have been just an economic alternative to conventional construction. Since then, architecture exists on the spectrum of expensive but unique craftsmanship, to the standardization of design. The high level of industrialization, particularly in the USA, lead to an extreme point where concrete, wood frame or metal structures allowed a fastest and cheapest process to build.



Fig.1 – Casa Grande ruins, Arizona, USA (Credits: Lima, 2015)

In the contemporary History, some moments of crisis (war, oil and energy crises) reduced the rhythm of resource consumption and encouraged the use of approachable traditional techniques and sustainable habits. The Great Depression was the second important moment for earthen architecture development in the USA because *“it induced shortages of money and building materials, and an abundance of cheap available labor”* (Easton 2007, 15). In consequence, the “New Deal” program gave to the people the opportunity to obtain work and dwellings. Part of it, the Homesteads Project *“would encourage basic ‘American values’ and restore dignity to the common people”* (Easton 2007, 16). Seven experimental and affordable houses, a project by Thomas Hibben, in Gardendale (Alabama), were made in rammed earth. However, this fact was hidden and the buildings were all plastered in case they failed (which did not happen), and they are still inhabited today.

The ongoing wave, specially stronger after the 2008 economic crash, is based on the global sustainability tendency and the attempt to save resources. In Portugal, because of its late industrialization, rammed earth stayed in use until the middle of 20th century but diminishing along with the introduction of concrete and other new materials (Fig.2). The technique was reintroduced between the 1980’s and 1990’s *“led by architects but rooted in traditional knowledge of the old masters ‘taipeiros’”* (Marques et al. 2014, 3), with no role

¹ free translation from original French version

² according to David Easton (2007, 13)

performed by governmental or public initiative. Paradoxically, in both countries the most common contemporary rammed earth clients are most of the time from a wealthy upper class *“in the context of an eco-friendly trend, being a life choice (...) or a high standard tourism investment, which requires technical expertise”* (Marques et al. 2014, 5).



Fig.2 – Traditional technique, Aljezur, Portugal (Credits: Marques, 2014)

1.2. Building Codes

One of the largest differences between Portugal and the USA is related to building codes applied to earthen construction. While in Portugal still is a lack of specific regulations for earthen construction and its feasibility has to be totally assumed by engineers' and architects' experience; in the USA, beyond the technical responsibility, fragmented references from individual state codes can be found in the current International Building Code. This fact does not help to achieve consistency in earthen practices, since there are substantial differences, for instance, between Arizona, New Mexico, Texas and California, which are not about their specific issues, such as earthquakes, but have to do with each State, its economic and cultural context. In order to help owner builders, New Mexico Building Code includes tables with wall ratios and drawing details, making it more prescriptive and supportive of a cultural identity, compared with Pima County (Tucson, AZ). Tucson has a different business approach, following the legal procedures like other construction types. And California has even more regulations, with the result that almost only the wealthy people can afford rammed earth, *“In California there is a political and a structural major battle all the time. To get a permit there, it can take years!”*³. More restrictive codes end up demanding steel reinforcement in rammed earth load bearing walls and concrete bond beam, instead of the traditional wood bond beam, more flexible in earthquakes. However, placing reinforcement in rammed earth walls is somewhat problematic because *“rammed earth cannot be vertically reinforced with steel reinforcing bars like concrete block, it remains vulnerable to earthquakes”* (Vint 2005, 91). Simultaneously, cement plasters or stucco are required on new constructions, prohibiting exposed unstabilized walls, regardless all the bad examples in the past, where rigid and low permeability performance of the plasters lead to the degradation of the core earth wall.

³ Bob Barnes, interview conducted by the author in May, 2015

1.3. Context and typology

The use of earthen materials has always been driven by at least two major reasons: cultural and economic, to which we can today add an increasing ecological concern. These greater motivations to chose earth as a building material are based on several factors to take into account such as weather conditions, location and site topography (Fig.3), availability of soil and its characteristics, typology and program requirements, project design and availability of expertise hand labor and/or guidance.



Fig.3 – Troviscais House, Odemira, Portugal (Credits: Marques, 2014)

In both Southwest regions of Portugal and of the USA, rammed earth seems to be the most used earthen technique nowadays and not only climatic reasons explain this major presence of rammed earth since there are so many cases attesting its use in cold and humid climates (North of America and Europe). In the USA it is possible to find several rammed earth building typologies, driven by economical and social circumstances: owner-builder housing (if allowed by regulations), low-cost dwellings sometimes related to educational official programs and hands-on experience workshops organized by nonprofit associations, urban landscape (public art or lot walls), luxurious houses and private/public equipment (Fig.4). On the other side, in Portugal, due to its context, there are more private housing or touristic initiatives (new or restoration), along with some educational programs and recent public art works that used rammed earth as a manifesto (Fig.5).



Fig.4 – Low Compound House, Scottsdale, Arizona, USA (Credits: Eddie Jones, 1997)



Fig.5 – MUD, Viseu- Portugal, 2015 (Credits: NunoVasconcelos, 2015)

Until now, there were very few programs on both sides of the Atlantic for apprenticeship, perhaps due to a lack of interest and disclosure. These programs do not open regularly and cover a small community of recipients, being its long-term continuation not assured, neither the monitoring of the building's life cycle (Fig.6). The major educational and official projects in the USA aimed to support local communities with low cost housing and equipment or historical preservation programs. They are specially driven by the University of Arizona, University of New Mexico with YCC - Youth Conservation Corps Program, Northern New Mexico College and Cornerstones Community partnerships. In Portugal in the 1990's, in one of the rare public equipment projects made in rammed earth, São Luís Market, in Odemira, there was the opportunity to train some students in earth building construction. Recently there has been some positive development in the educational area, since the country is now part of an European project (PIRATE - Provides Instruction and Resources for Assessment and Training in Earth building) that aims "to establish the new standards of competence needed by the growing market of sustainable building with earth material" (Pirate 2012).



Fig.6 – Rammed earth wall by students with Mike Sims (Credits: Lima, 2015)

1.4. Constructive methods

Between Portugal and the United States, what differs the most is clearly the rammed earth methodologies and technique. The constructive method relies on a still traditional system in Portugal and in a more standardized scheme in the USA, having great consequences in the final appearance of the walls and building as a whole.

Regardless of the well-known type of structure that rammed earth is based on - monolithic structure, it is interesting to point out the close similarities between Portuguese rammed earth technique of composed courses and a typical masonry system. Although the growing use of continuous horizontal formwork, there is still a permanence of traditional methods, with crafted and small-scale formwork. The wall is built horizontally with the first course being completed before the second starts on a reverse way. Every lift is compacted firmly leading to a uniform panel. It is still common to use mortar with lime and sand for the joints between courses, which will reduce the possibility of cracking and will help to fix the finish plaster. Surprisingly, this last technique is totally unknown in the USA, where instead insulation foam is used to fill specific joints, such as expansion voids.

The reappearance of rammed earth in the United States in the late 19th century triggered a faster development of building practices, using bigger structures managed with heavier machinery, changing timing and organization on the work site. In this case, mostly vertical forms are used and, depending on the budget, there is a choice between a movable modular height form or a static form with total high. This last choice may require special care to assemble and disassemble the heavy forms made of steel or plywood (Fig.7). Since the North American technique does not use mortar for joints, each form will work as a whole independent panel tied up to the adjacent one and to the bond beams with keyways. To avoid horizontal cold joints in the same panels or sections, there is a special concern to end the ramming process on the same day. In this context, rammed earth became an expensive solution compared with the common concrete block and wood frame systems. As architect Eddie Jones said in our interview *“if you’re poor, dirt walls are cheap, if you are rich you are not going to build by yourself, and it will be an expensive wall. I can do a cast-in-place concrete wall for the same price I can do a rammed earth wall for. And the rammed earth technology, at least in Phoenix, has advanced so far it’s almost too good. It looks like a piece of cake, literally like you can eat it! It is so beautiful and perfectly uniform!”*⁴. The quality of the final work will depend on the efficiency of the formwork system, while the building design will determine the best system to rise up the wall. In the USA recent constructions, the rammed earth walls have been associated to a concrete post and beam structure, that makes possible a free plan, where rammed panels are combined with glass, having no longer the traditional closed box structure. In this country several systems (from freestanding panel to panel-to-panel) are being used to achieve this shape. These techniques have gotten to a point that innovation is constant, becoming even more a hybrid system with less earth and more concrete basis.

⁴ Jones, interview conducted by the author in May, 2015



Fig.7 – SEWWC forms panorama sirewall (Credits: <http://sirewall.com/>)

1.5. Design and function

The new rammed earth systems are being used in the contemporary architecture, with strong authorship features, since there are no limits to build with. These solutions allow a wider freedom in creating walls with aesthetic value comparable to a fine art object: *“blurred boundaries - earthen walls and a glass, all reaching to the sky”* (Holl and Pallasmaa 2002, 117). The constructive value of the wall is reduced for a creative will of free sculpture shape (Fig.8). However, without a modular pattern, a more complex wall design, sinuous and with exceptional dimensions, will increase costs and hamper level of execution. In the USA, rammed earth load bearing walls are frequently on a range of 18 inches (45,72 cm) to 2 feet (61 cm) thick, providing great thermal mass. Due to its structural limitations, buildings have usually one floor with *“a maximum wall thickness-to-height ratio of 1:10, adequate cross-walls, and continuous bond beam is needed to provide adequate resistance to lateral forces”* (Vint 2005, 91). Openings vary from simple and defined windows in the Portuguese case, to the large glass panels in the North American case. Framing can be completely omitted allowing glass panels to sit in the opening, sealing the joints with elastomeric putty. As thermal advantages are not the determinant reason for choosing rammed earth, a large amount of glass surface in the facade (with a lower R-value for thermal insulation and naturally facing South) gives the panoramic views. Windows can be very traditional though, with metal or plain wood frames laid on sandstone or concrete sills (sometimes coming from the stem wall). According to the North American regulations openings in stabilized rammed earth walls, when they have *“less than twenty-four inches in width shall not require a lintel or semi-circular arched opening”* (CID-RLD - New Mexico Code 2009, art.14.7.4.18). Lintels can be in wood or steel plate, with the last one observing the aesthetics of minimal design (Fig.9).



Fig.8 – Outpost House, Paradise Valley, Arizona, USA (Credits: Eddie Jones)



Fig.9 – La Tierra Nueva Residence, New Mexico, USA (Credits: Graham Hogan)

The North American roof system is in general a light system of corrugated metal over insulation panels and wood trusses supported by concrete bond beams at the top of the rammed earth bearing walls. In traditional buildings, these roofs have enough overhangs to protect the walls from the rain. Recently there are many examples where rammed earth is exposed with just a metal flashing or concrete cap at the top, reducing at maximum the concept of volumes, with linear edges for transition of materials and plans (Fig.10). However it is visible, for instance in the office of the architect Rick Joy (a set of separated volumes, built in 1995-1998), how design and perhaps the type of soil determined the decay of the walls. On his following project, the 2004 Tucson Mountain House, Rick Joy invested in visible overhangs over the earthen walls and assumed the expression of the footer in concrete to step up the bearing value of the rammed earth wall. The footer reminds us the traditional stone base, protection from the water and other biological presence. In these cases, as in others in the vast North American production, the transition between the stem and the rammed wall is often highlighted with an indent.



Fig.10 – PERA Building, Santa Fe, New Mexico, USA (Credits: Lima, 2015)

In Portugal, rammed earth walls were traditionally hidden from exterior with a thick layer of plaster, as a finishing protection from weathering. This type of finishing is still in use, but recent buildings are exposing earth on the entire surface of the walls, for aesthetic reasons, using lime or cement for compound stabilization. According to Peter Walker, the compound for rammed earth should have an ideal percentage between 45 to 80% of sand, 10 to 30% of silts and 5 to 20% of clay (Ponte 2012, 127). The portion of clay may vary depending on the cement content if the compound is stabilized. The traditional North American mixture of soil has approximately 10% clay, with medium and sharp aggregates, stabilized with 6% to 10% of cement, which allows totally exposed walls. In order to get a painting effect on the wall with a high quality finish, formworks are carefully planned in an extremely time consuming process and every lift with 4 to 8 inches for ramming is designed to incorporate most of the time natural pigments. As a highly efficient solution to deal with extreme temperatures, some walls have insulation panels in between two rammed earth panels, or in other cases they have the insulation panels on one side, which is then covered by a final plaster. Whatever is the final coat, or intermediate solution to comply with comfort standards, rammed earth inspires architect's desire to minimal and pristine shapes as if only the walls texture could fill the space.

Conclusion

Rammed Earth, although an unusual construction system for large scale typologies, is becoming highly appreciated for its sculptured mass and unique beauty in every single work. Large scale rammed earth structures for public and private equipment are being built, such as the recent project of an Hospital on an Indian Reservation, in Oklahoma, that will be carried on by Sims General Construction. Today several media forms have been spreading images of these fascinating structures or minimal house spaces associated with idyllic scenarios, which contributes for the contemporary image of this vernacular technique.

Two major movements can be identified within the earthen construction evolution. One of the movements, found in the North American Southwest, approaches a high-tech system that makes the construction extremely expensive and less accessible, without fearing cement contribution. The other tendency, found in the Portuguese Southwest, keeps a traditional profile, with a low cost level. These differences have to do with country's scale, construction market and available resources. Despite global standards, regional codes and many scientific results, on both countries there is still a long path to promote more recommendations and standards to face warranty demands, to inspire and educate the public in general and also to instruct and prepare a specialized corp of technicians. This is part of a long process that could give to rammed earth a more prominent position in the construction scenario.

Bibliography

- CID-RLD, Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department (2009), Part 4 - 2009 New Mexico Earthen Building Materials Code, in "New Mexico Administrative Code", New Mexico, USA, accessible: <http://164.64.110.239/nmac/parts/title14/14.007.0004.htm>, accessed August, 2015.
- Easton, D. (2007). The Rammed Earth House, Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vermont.
- Holl, S. and Pallasmaa, J. (2002). Rick Joy: Desert Works, Princeton Architectural Press, New York.
- Marques, J. et al. (2014). Contemporary Use of Rammed Earth in Portugal - The Case of Alentejo Coast, 40th IAHS World Congress Housing, 16-19 Dec., Madeira.
- Pirate, Provides Instruction and Resources for Assessment and Training in Earth building (2012) ECVET earth building, Accessible: <http://pirate.greenbuildingtraining.eu/public/>, Accessed: February 2016
- Ponte, M. (2012). Earthen Architecture: The design for the durability of buildings, MSc dissertation in architecture, Department of Architecture, FCT Univ. Coimbra.
- Ricaud, E. (2014). Architecture en terre aux Etats-Unis: Hybridation des techniques précolombiennes et coloniales, Rapport de mission Richard Morris Hunt Priza - Labex AE & CC, Paris, octobre.
- Vint, B. (2005). Southwest Housing Traditions: Design Materials Performance, U.S. Department of Housing and Urban Development.

Biography

Pilar Abreu e Lima

Architect by Faculty of Architecture, U.Porto (FAUP.2007). Post-degree in Rehabilitation of Building Heritage by Faculty of Engineering, U.Porto (FEUP.2011). Integrated member of the Center for Studies In Architecture and Urbanism (CEAU).

Acknowledgment: recipient of a Fulbright Research Grant, affiliated with U. of Arizona (2014-2015).

Clara Pimenta do Vale

Architect by Faculty of Architecture, U.Porto (FAUP.1991) MSc in Building Construction by Faculty of Engineering, U.Porto (FEUP.1999), PhD in Architecture (FAUP.2012). Professor in FAUP (1999-present). Architect in private practice (1991-2004). Integrated member of the Research 'Center for Studies In Architecture and Urbanism' (CEAU).

Joana Marques

Architect by Faculty of Architecture, U.Porto (FAUP.2006) Architect in private practice (since 2007). Earthen construction approaches in Portugal and India. Member of MUD project team, a rammed earth installation built in 2015 in Viseu, Portugal. Integrated member of the Research 'Center for Studies In Architecture and Urbanism' (CEAU).

This paper is cofinanced by FCT; COMPETE 2020, Portugal 2020 and Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.



A Narration of Iranian Architect: A Survey on the Historical Evolution from Mason to Architect

Reza RAHIMNIA, Mehran GHARAATI, Ali ZAMANIFARD

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

ABSTRACT:

Looking at the existing historic buildings as well as resources about Iranian architecture, it can be said that majority of the structures in Iran were built out of earthen materials. On the other hand, apart from the officials and governors, masons have as well contributed remarkably to the Iranian architecture. Similarly, masons and traditional restorers have played an important role in conserving earthen architecture over the past few decades. However, despite their important role in maintaining the historical Iranian architecture, masons have continuously been ignored in conservation strategies and policy-making, while their skills and capabilities are being overlooked in the conservation of the past architectural heritage. This paper aims to bring into attention the importance of the knowledge offered by traditional masons/builders and stress the significance of their skills for a better understanding of the past Iranian architecture. The paper highlights the factors that resulted in ignoring masons' knowledge in today's Iranian architecture. Discussing the roots of this situation, this paper employs qualitative and historical approach as the methodology of study. It is concluded that the introduction of modern architecture through academic architectural education in Iranian universities, along with the transitional conditions of the society had a negative impact on mason practice in architecture and conservation.

1- INTRODUCTION

Study on the history of Iranian architecture shows that the Iranian architecture has been always about continuation and evolution of space, form, materials and function. The continuity and evolution in addition to the impact of the environment, governors' influence, and society reflect the existing ability in the field of building technologies and traditional knowledge. These technologies and knowledge more than anything depended on the practice of builders, masons and architectural interveners in the repairing of Architecture. As well, documents and inscriptions also demonstrate that the history of conservation to be in line with the architecture of buildings, and that repair and restoration of monuments has been part of mason's practice in the past¹.

Examining the history of architecture and the views of scholars², it seems that conservation education, like many other professions, was based on verbal knowledge and direct relationship of teacher and student (or rather, master and apprentice). In fact, the old restorers of monuments were expert masons (craftsman) who have both knowledge and experience of the traditional system of education. Even to this day a lot of monuments repair have been done by the traditional masons and also at now done by the few survivors of the generation³. Historical texts and itineraries/travel writing show that before the Qajar period all architectural and repair work were conducted by masons and builders. They gradually and for different reasons, besides the actual loss of the traditional system of architectural education, were considered less in the recent practice of conservation in Iran (Kiani 1386, 104).

Therefore, it is necessary that the masons' professional practice is studied in the two periods (i.e. before and after the arrival of modern architectural education) with a diagnostic approach. This article studies the changes in the practice of traditional masons in Iran within three time periods: 1) Before 1192 SH or 1813 AD, 2) between 1192 -1357

¹ . For example: repair of Hira temple by Darius in Behistun inscription (Sharp 1967, 39) and repairs of Isfahan grand mosque in Seljuq Empire (Honarfar 1334, 67-168).

² . For example look at (Nadimi, 1370; Hojjat 1391; Olya 1381; Mofid 1385).


³ . For example repair and restoration for Mir-Emad mosque, Ardestan mosque, Natanz mosque by Gholamreza Farzaneh (SajjadiNaeeni 1385, 21) and restoration in Abbasid mosque and Sheikh Lotfollah Mosque by hoseinMarefi (Varjavand 1356, 1387).

SH or 1813 - 1978, and 3) after 1357 SH or 1978. The three periods will be discussed with focus on the introduction of modernism in architecture and modern architecture. Study of society conditions and masons response for them also have been considered.

2- METHODOLOGY OF STUDY

Besides describing the buildings, some historic documents and texts discuss about masons and their conditions. Therefore, to acquire proper recognition of traditional masons' practice (including their roles, activities and their position in past to recent times), the literature on traditional master-apprentice system of practice was reviewed. In the next stage, referred to as oral sources, interviews with masons and the last generation of traditional masons were conducted or their work was observed through field studies. This stage was considered as supplemental source for research. The studies showed three specific activities (build, design and supervision), that now in the ICEO (Iran Construction Engineering Organization) are known as the three major aspects of the profession of architects. As a result, their common features were consistent with historical documents.

For better understanding in results, the three specific activity shown in the four levels, no activity (0 unit), low activity (1 unit), moderate activity (2 unit) and high activity (3 unit) that presented in the charts (Figures 1 to 6).



3 Unit
2 Unit
1 Unit
0 Unit

3- BACKGROUND

As for the study on the changing activities of masons over the time, the different approaches of researchers on Iranian masons is investigated in this part. These approaches can be classified in several major groups. However, all cannot be explained here⁴ and the main approaches will be reviewed as follows.

3-1- Documenting Masons Names

This approach is one of the most common approaches toward studying masons. Although the names of all masons in this approach are not documented, some of them were recorded in building inscription on monuments, literature, texts or historical documents. Some of them were also recorded by later researchers according to the abovementioned sources (i.e. inscription on monuments, texts and historical documents) and at least the name of the masons come up in a variety of sources⁵.

3-2- Description of Building Practice or Guild Conditions

Description of mason construction practice and their guild conditions, the social history and the architectural history approaches are another category of studies on the masons' profession. This could be seen in the past context, with the goal of documenting and recording of the past events. Historical texts⁶, prose and poetry in Persian⁷ and itinerary⁸ are important parts of these resources.

⁴ . The different approaches discussed in the first author's thesis.

⁵ . For example look at (Bozorgnia 1383; Setoodeh 1385) in Persian and (Wilber 1954, 37-41, O'Kane 1982, 37-41, 371-382, Blair 1986, Golombek, Wilber, and Allen 1988, 65-69, 458-462) in other languages.

⁶ . For example look at: Karaji and experiences in Qanat (Karaji 1373), Attention to masons and their titles (Shamse-Monshi 1390) etc.

⁷ . Description architect crafts (Afshar 1378), describes the architectural activity in Shahnameh (Soltanzadeh 1377, 132-138), describe the architect and architecture in The Seven Beauties (Tabasi 1379, 92-93).

⁸ . For example look at (smith 1953; Holster 1975, 39-40)

3-3- Documenting Experiences and the Theoretical–Technical Knowledge:

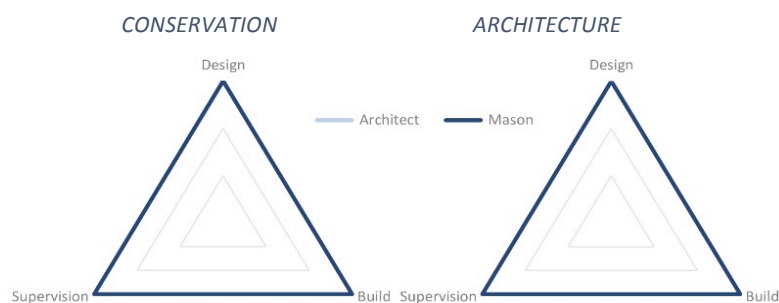
Recording the masons' experiences as the conservation knowledge are studies that constitute this category of research. The researchers' studies about the masons on this issue can be divided into four general categories. The first group would be those who "document masons' work", describing their daily professional endeavors⁹. The second group would make a full "introduction of craftsmen and masons," (through their works), which most often can be seen in magazine articles in the field of culture and cultural heritage. The third group focus on the "technical knowledge" of traditional architects/masons, looking for lessons from experiences and seeking technical know-how¹⁰. The fourth group of research revolves around "theoretical knowledge" of the architects/masons, and include relatively fewer literature.

4- THE EVOLUTION OF IRANIAN ARCHITECTS OVER THE TIME

Iranian architects' professional activities in building and repair have been in a historical evolution over the course of centuries, with dramatic changes in the past 100 years. This subject could be reviewed at an evolution from Mason to architect. It seems that a variety of reasons have contributed to this transition, the review of which is the main goal of this research. In this regard, the paper studies the changes in three main historical periods, as follows.

4-1- First Period (Before 1192 HS / 1813 AD):

According to the texts and inscriptions on monuments¹¹ it can be concluded that in the period preceding Abbas Mirza¹² in the field of architecture the architecture profession and its education were all organized by the master-apprentice system. Reaching the rank of craftsman (master) in architecture involved spending many years of hands-on experience, leading to the title of craftsman (Master) being awarded to the apprentice. Evidence suggests that during the Abbasid caliphate, and after that, all guilds were organized in a system of Chivalry organizations¹³ and craftsman played an important role in professional training (Nadimi 1385, 19-20). Masons activities in this period are mainly design, build and supervision. They are the sole practitioners of construction, architecture and conservation practice in this period (Fig 1).



⁹ . Some of the researchers such as Sharbaf, Pirnia, Pournaderi fall into this group.

¹⁰ . Some of the sources by Memarian, Bozorgmehri, Zomorshidi and Tehrani focus on this subject.

¹¹ . For more information look at (Laleh 1375, 40-41).

¹² . Abbas Mirza (1789–1833 AD) was a Qajar crown prince of Persia. He is furthermore noted as an early modernizer of Persia's armed forces and institutions.

¹³ . It was also a name of ethical urban organizations or "guilds" in medieval Muslim realms that emphasized honesty, peacefulness, gentleness, generosity, avoidance of complaint and hospitality in life. For more information look at (Hasan & Hill 1992, 357).

4-2- The Second Period (1192 - 1357 HS / 1813 - 1978 AD):

The second period corresponds to the increase in the relationship between Iran and the West. In this period, due to extensive socio-political changes in Iran, caused by cultural changes in society, changes in the activities of most of the masons (traditional architects) can be seen. Because of the importance of this period of time is discussed in four sub-categories.

4-2-1- Relations with the West (Abbas Mirza):

The transformation of Iranian architecture, and subsequently changes in the scope of masons' activities came along with the increased relationship between Iran and Europe. At first, this relationship enhancement that began at Abbas Mirza's period was military-based, but gradually spread into other disciplines as well¹⁴. Since the Western influence was not deep at the time, and was limited mainly to the higher social ranks and the government itself, not much of change can be spotted in the role of masons/traditional architects, and they continue to effectively perform as the main authorities in the conservation profession (Fig 2).

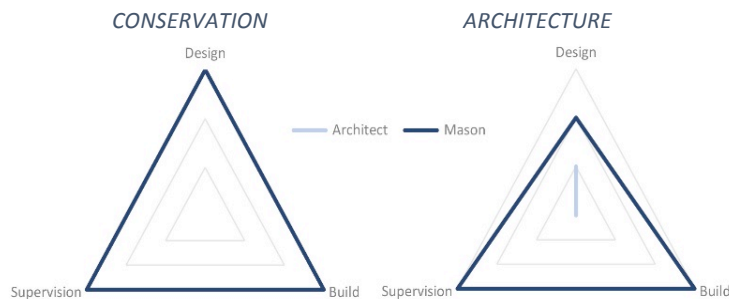


Figure 2: Masons and Architects activity in second Period (AbbasMirza)

4-2-2- Modernity in Iranian Architecture:

Modernity in architecture is the impact of Europe classical architecture that began after Fath-Ali-Shah as a result of increasing the relationship between Iran and Europe¹⁵. Increasing communications with Europe caused some elements of traditional architecture being replaced with new forms¹⁶. In this period the Dar ul-Funun (modern institution of higher learning in Iran) by Amirkabir, both in terms "design and build "as well as " teaching courses" came to existence, causing the basis of change in the culture and in the architecture as well¹⁷.

Furthermore, when Mehdi-Khane-Shaghaghi returned to Iran as the first architect that was academically educated abroad, the first opposition between mason with new architecture and architect was emerged. This encounter eventually led to challenges that particularly Mehdi Khan Shaghaghi talked about¹⁸. Because of his interest in traditional architecture and also friendship with a traditional mason (namely Hassan Qomi¹⁹), gradually he could continue his architectural work and as he points out²⁰ he worked as designer or supervisor beside the masons (Jahanbagloo 1380, 78; BaniMasoud 1390, 180).

¹⁴ . For more information look at (BaniMasoud 1390, 11; Jahanbaglou 1380, 76).

¹⁵ . Influence of the new tastes in Iranian architecture done by Russia and the Caucasus, and enter to Iran with Bushehr on the Persian Gulf (Jahanbagloo 1380, 75).

¹⁶ . For more information look at (Jhanbaglou 1380, 79)

¹⁷ . For more information look at (Jhanbaglou 1380, 76-77; Habibi&Ahari 1389, 19-26)

¹⁸ . For more information look at (Jhanbaglou 1380, 77)

¹⁹ . Hasan Ghomi (13 Century) one of the Iranian mason's that built Sepahsalar mosque in Qajar period.

²⁰ . To build the mosque Sepahsalar (1291), that was entrusted to him, he used Hassan Qomi experiences. In his memoirs, says: "I like the design engineer has supervision the building" (Jhanbaglou 1380, 78; Bani-Masoud 1390, 180).

As Homaei (1375, 343) mentions, new professional structure (modern architecture) failed to win the confidence of the public at first, and in most cases people showed more confidence in the traditional organization and its traditional architects. While in this period it is still the responsibility of masons to build and/or repair the traditional architecture, the academically educated architects gradually spread out their area of work. The design and supervision was gradually entrusted to the architects, but the masons' position as the main people in charge of building and repair was, to a large extent, maintained (Fig 3).

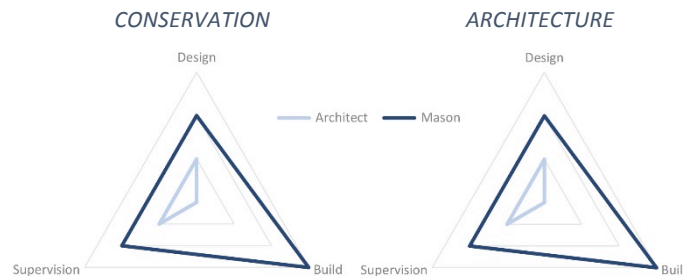


Figure 3: Masons and Architects activity in second Period (Modernity)

4-2-3- Attention to the Importance of Archeology and Antiques

The establishment of "the Bureau of Antiques" is seen as a beginning to more attention to artefacts²¹. From the year 1300HS (1922 AD), attention to and action towards conservation and repairing cultural objects and monuments gradually began (Mostafavi 1334, 13). One of the first endeavors in this field was the establishment of the National Monuments Council in 1301 HS (1923 AD) proposed by Zeka-ol-Molke Foroughi. Ferdowsi's tomb is one of the first of such works that is still available (Hodjat 1380, 234-237; Habibi&Ahari 1389, 37). A study of the activities of the National Monuments Council at this time illustrates some of the architects who had studied abroad and worked as implementing major projects were in fact involved in the design and construction of architectural projects. After Ferdowsi's tomb building plan was not approved by the National Monuments Council and problems arose, a traditional mason (namely Lorzadeh²²) was invited to finish the work (Raeeszade&Mofid 1383, 18). Another example would be the repair work for the porch of the Abbasid mosque in Isfahan, conducted by a traditional mason (namely Moarefi²³) after André Godard seemed unable to perform the job (Negahban 1385, 31). These examples demonstrate that in the beginning the trust and preference was given to the new architects while masons' commissions to architectural jobs have been gradually reduced. During this period - which started with the beginning of the first Pahlavi and with the advent of modern architecture reached a peak (after 1320 HS / 1941 AD) - architects were divided into two main groups. Their status was replaced by the new generation of academic architects (Kiani 1386, 230; Jahanbagloo 1380, 86; Bani-Masoud 1390, 203). The three main groups of architects take on architectural jobs in this period: masons (traditional architects), Iranian architect who were educated in the West, and foreign architects²⁴.

Masons (Traditional architects) were mostly active in the construction of public structures, mosques, and religious sites (Kiani 1386, 211-231). Iranian architects educated in foreign countries as well as foreign architects were given a large portion of the architecture in Iran. The establishment of cultural development and the protection and conservation of

²¹ . For more information look at (Mostafavi 1334, 23-24; Negahban 1385, 58 & 62).

²² . HosseinLorzadeh (1907- 2005 AD) one of the Iranian traditional architect (mason) in Qajar period.

²³ . HosseinMaarefi (1894-1976 AD) one of the Iranian traditional architect (mason) in Isfahan.

²⁴ . For more information look at chapter eight in (Kiani1383).

antiquities and cultural heritage was made more specialized. This approach also led to a new spin to the masons' activities that is illustrated in fig 4.

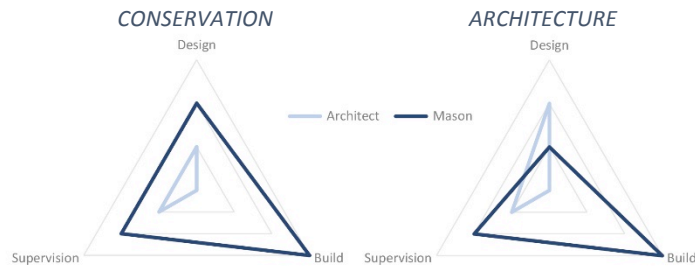


Figure 4: Masons and Architects activity in second Period (Archeology)

4-2-4- Modern Architecture

The remarkable change in education style in architecture came along with the establishment of Tehran University, Faculty of Fine Arts (1319 HS / 1940 AD), which in turn led to the replacement of education system of traditional architecture with academic education (Eslami & Naghdbishi 1391, 3-4). As pointed out by Habibi & Ahari (1389, 27-33), this new approach also witnessed many changes during this period, which seemed to be a result of diversity in architects' education system. New approaches were used in this course of time, including: Qajar style architecture with indigenous as well as western architectural elements, national architecture, and architecture influenced by the international style and classic style of Europe-based architecture. The first two groups took advantage of experienced masons, while the other two groups, mason's role as builder or architect was no more applicable. With the arrival of new education system in architecture, masons were not involved in the design process, and the design was done and approved by formal architects. In this period the use of traditional architect in Archaeology departments across the country was highlighted (fig 5).

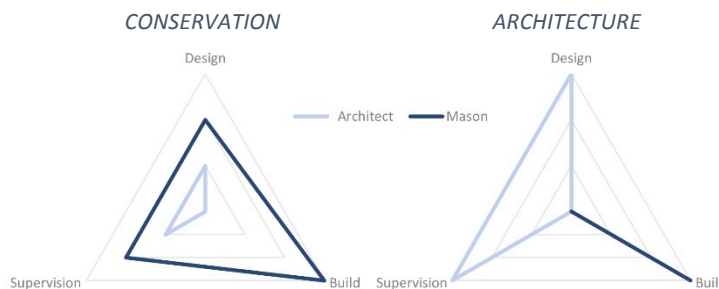


Figure 5: Masons and Architects activity in second Period (Modern)

4-3- Third Period (After 1357 HS):

In the years following the Islamic Revolution of Iran and the dramatic changes in the government, Iranian architects sought for a vernacular architecture as well as Iranian architecture. Architectural approaches in this era can be identified in three groups: Culturalism, modernism and Postmodernism²⁵. In each of these approaches the role of masons may be different and in some of them there might be none. Although one can see interest in returning to the vernacular architecture, but this interest in the past was not necessarily associated with a return to the masons (traditional architects), but again the academic architects sought to learn lessons of the past knowledge mainly through academia. Publications, interviews, awards, conferences and lectures that subject about

²⁵ . For more information look at (Habibi&Ahari 1389, 49-67).

mason (traditional architect), show the same trend. In terms of building practice, the masons (traditional architects) did not return to their previous status (fig 6), but as a source of the knowledge of past architecture, they are, to a certain extent, are regarded valuable.

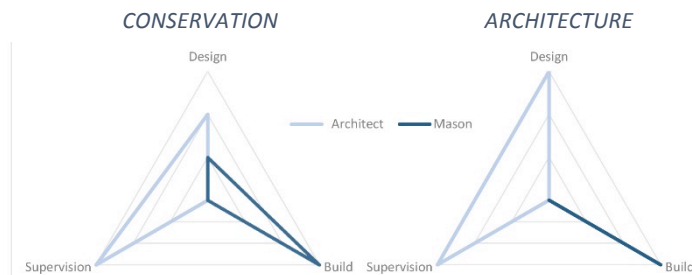


Figure 6: Masons and Architects activity in Third Period (After 1357 HS)

5- CONCLUSION:

In summing up the historical approach to the Iranian architect and their activities over the time, it could be argued that the traditional pre-modern masons represented all of the architectural and repair activities. With the arrival of cultural developments, "Craftsman" (Memar-bashi) was assigned by the governor, and was given full authority in architectural activities. Design, build and supervision were parts of his tasks. "Architect" appeared later in time, although less dependence on the government, and was doing all the craftsman's tasks. At this time, "Mason" was merely seen as the builder of architect's design. This historical evolution was changed by the arrival of academic Architects who were educated at the universities abroad. Traditional architects (Craftsman or mason) only were regarded as "builders", except in the conservation and restoration of the traditional structures, where their experience and knowledge were deemed useful.

Bibliography:

- Afshar, I.(1378). Introduction about architecture history in Iran according to Persian text. Honar- va- Mardom. No 15. P 2-5.
- Banimasoud, A. (1390). Contemporary Architecture in Iran (the struggle between tradition and modernity). Architecture art in the century (HonareGharn). Tehran.
- Bozorgnia, Z.(1383). Iranian Architects of the early Islamic period to the end of the Qajar period. ICHO (Iranian Cultural Heritage Organization). Tehran.
- Blair, Sh. (1986). "A Medieval Persian Builder." The Journal of the Society of Architectural Historians:389-395.
- Eslami&Naghdishi. (1391). modeling structural strategies based in Tehran University College of Fine Arts School of Architecture on past experiences. Arman-Shahr Architecture and urbanism magazine. No 9. 1-17.
- Habibi&Ahari. (1389). Intellectual Trends in the Contemporary Iranian Architecture and Urbanism (1979-2003). Cultural Research Bureau. Tehran.
- Hojjat, M. (1380). Cultural Heritage in Iran, Policies in an Islamic country. ICHO. Iran
- Hojjat, I. (1391). Tradition and innovation in architectural education. University of Tehran Press. Tehran.
- Homaee, J. (1375). History of Isfahan. Institute for Humanities and Cultural Studies. Tehran
- Holster, E.(1975). Iran in one hundred and thirteen years ago. Translate by Mohammad Asemi. Tehran.

- Golombek, Wilber, and Allen. (1988). *the Timurid Architecture of Iran and Turan*. Vol. 1: Princeton University Press New Jersey
- Jahanbagloo, R. (1380). *Iran and Modernity*. Translate by HoseinSamee. Gofar. Tehran
- Karaji, M.(1373). *Extraction hidden water*. Translate by: HoseinKhadiv-e-Jam. Institute for Humanities and Cultural Studies. Tehran.
- Kiani, M. (1386). *The first Pahlavi era architecture: the transformation of ideas, creation and development of contemporary architecture's twenty-year period from 1320 to 1299*. Tehran.
- Mostafavi, M. (1334). *Efforts in the service of the national heritage and hope for the future*. Department of archeology. Tehran.
- Nadimi, H. (1385). *Kelk –e-Doost, Ten Essays on Art and Architecture*. Isfahan.
- Nadimi, H. (1370). *Entry to architectural education methods*. Soffeh. No 2. P 4-17.
- Negahban, E. (1385). *A review of fifty years of archeology in Iran*. SobhaneNour. Tehran.
- Mofid, H&Raeeszadeh, M (1385). *The story of Iranian traditional architecture in Lorzadeh Memories*. Moola. Tehran.
- Raeeszadeh, M&Mofid, H. (1383). *Vain speech, ten articles on aesthetics and architecture*. Moola. Tehran.
- SajjadiNaeeni, M. (1385). *Traditional Architect: OstadGholamrezaFarzaneMohammadi*. Farhang-e-esfahan. No 31. P 97-101.
- Setoodeh, M.(1385). *Islamic Period Artist*. In *Iranian Architecture (Islamic Period)*. Samt. Tehran.
- Shamse-Monshi, M.(1390). *Dastor-ol-Ketab fi Taeen-e-l-Marateb*. Edited by: Mahmoud Tavoosi. Farhangestan-e-Honar. Tehran.
- Soltanzadeh, H.(1377). *Architecture and urbanism in ferdowsiShahnameh*. Edited by: BabakMokhtar. Office of cultural research. Tehran.
- Smith, A.(1953). *Blind white fish in Persia*. Dutton.
- Tabasi, M.(1379). *Architecture Word in Divan-e-Hafez*. Ravagh. No 5. P 75-94.
- Olya, M. (1381). *Understanding the traditional architecture words in Yazd, an alternate method for identifying the architecture*. PhD Theses. Tehran University.
- O'Kane, B. (1982). *"Timurid architecture in Khurasan"*.
- Varjavand, P. (1356). *Look at the history of repair in some of Isfahan monuments*. Honar-va-Mardom. No 15. P 2-18.
- Varjavand, P. (1387). *Restoration in Abbasi grand Mosque with mention of HosseinMoarefi*. Golestan-e-Honar. No 4. P 44-49.
- Wilber, D. (1954). *"Builders and craftsmen of Islamic Iran."* *Archaeology*: 37-41.

Biography

Reza Rahimnia: graduate of PhD in conservation of architectural and urban heritage from Art university of Isfahan (AUI), and Assistant professor at the Imam Khomeini International University (IKIU) in Iran. His areas of interest are earth architecture, Intangible heritage, indigenous knowledge (Know-How), and laboratory studies.

Mehran Gharaati: graduated with a PhD in Architecture in May 2009 from McGill University, Mehran Gharaati taught as assistant professor at the Art University of Isfahan, Iran, for 5 years since 2010. He received his M.Arch.II degree in 2004 from the Minimum Cost Housing group at the same school. He also holds an M.Arch. degree (2001) from the Art University of Isfahan, Iran. Aside from his current passion of hands-on practice of architecture, post-disaster studies, earth architecture, and architectural education are his areas of interest.

Ali Zamanifard: Assistant Professor, PhD in Conservation of Architectural and Urban Heritage in Faculty of Conservation and restoration, University of Art (Tehran-Iran); he is Member of the UNESCO Chair Earthen Architecture; Researcher associated with the International center for Earthen architecture, Craterre-ENSAG, (2003-2010)



AVEI School of Earthen Architecture

Lara K. DAVIS, Satprem MAÏNI

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

This paper describes a new school of earthen architecture which is in development in Auroville, India. The aims of this school include the construction of a new campus with earthen technologies, the introduction of one-year diploma programs at various levels, and the dissemination of scientific and technical knowledge aligned with the goals of the UNESCO Chair Earthen Architecture. Education will focus on earth as a building material, emphasizing sustainable, climate responsive design/construction, appropriate building technologies and natural resource management. The initiative aims to impact all levels of society through the co-education of building professionals. The article describes AVEI's current educational initiatives, the context and aims of the school, educational curricula, pedagogical philosophy, and overview of the campus design with projected building plans and associated earthen technologies.

1. INTRODUCTION& BACKGROUND

1.1 Principle Aims & Objectives

Since its inception, the Auroville Earth Institute (AVEI) has educated more than 11,600 people from 82 countries, including several generations of young Indian architects and engineers. AVEI is currently planning an initiative for the extension of its research and educational activities – the creation of a pioneering school of earthen architecture (Maïni & Davis 2014). The principle aims of the AVEI School of Earthen Architecture include: 1. The construction of a new campus with earthen technologies, 2. The introduction of one-year diploma programs in earthen construction to experts and laymen across all sectors of society (at post-graduate, post-secondary, vocational levels), and 3. The dissemination of scientific and technical knowledge on earthen architecture aligned with the goals of the UNESCO Chair Earthen Architecture (UNESCO, ENSAG 1998). The school is designed to welcome annually 80 permanent students for the one-year program and approximately 1,300 trainees for other short courses.

Education will focus on earth as a building material, emphasizing sustainable, climate responsive design/construction, appropriate building technologies and natural resource management. This initiative aims to impact all levels of society in India and abroad through the co-education of young building professionals (principally architects, engineers, masonry technicians and craftsmen). The goals are to equip underprivileged workers with the technical and entrepreneurial skills for impactful gain in the housing sector, to mobilize future generations of architects and engineers to improve affordable, sustainable, climate resilient housing, and to enable change in the building sector through the coordination and networking of specialists at all socio-economic levels.

1.2 Current Educational Initiatives

AVEI has 27 years of experience training experts and laymen alike in earthen construction. Current courses offered at AVEI include Production of Compressed Stabilised Earth Blocks (CSEB), Masonry with CSEB, Design with CSEB, Disaster Resistance with CSEB, Theory of Arches, Vaults & Domes, Masonry with Arches, Vaults & Domes, Ferrocement, CSEB for Disaster Resistance and Earth & Bamboo.

There has been a tremendous increase in the annual growth rate of training course participants, long term internship applicants and awareness courses for students and professionals. Yet the demand is now much greater than AVEI's current capacity, and additional faculty and facilities are required to meet this need.

1990: ~30 trainees	1999: ~60 trainees	2000: 282 trainees	2003: 451 trainees	2013: 829 trainees	2015: 1,065 trainees
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------------

AVEI presently occupies ~900 m² of built-up premises on ~2,600 m² of land, including a conference room, practical exercises area, block yard, laboratory, workshop, storerooms and dormitories. These facilities can only accommodate 30 trainees, and the present location does not allow for any further growth. Accordingly, new premises and facilities are now being designed to meet the increasing demand for education in earthen architecture.

2. CONTEXT IN INDIA & GLOBAL APPLICABILITY

2.1 Earth Architecture in India

Nearly 30% of housing in India is built with earth: ~74 million houses with earthen walls out of a total housing stock of 249 million (Office of the Registrar and Census Commissioner 2001). India also has a diverse history of earthen architecture with various earth techniques, including cob, adobe, rammed earth, laterite block and wattle & daub (Pinto 2015) (Houben & Guillaud 1994) (India Environmental Portal 1992) (Correia et al 2013). This rich constructive culture has been dramatically declining in the last 50 years, and has been replaced by a mono-culture of country fired brick and concrete construction. A great many vernacular earth techniques in India have been lost without ever being recorded, even high profile heritage buildings are at risk (Petzet & Ziesemer 2008), and dedicated courses on masonry structures are no longer taught in engineering curricula (Menon & Murty 2014). Yet while the proliferation of concrete construction has thwarted the use of raw earth as a building material, particularly in Indian villages, earth remains one of the most competitive materials for sustainable construction. Today, earth is becoming indispensable as a low cost, low carbon and locally available building material, with an initial embodied energy and carbon footprint at least an order of magnitude less than conventional building materials like country fired bricks (Maïni & Thautam 2009). India has also been a pioneer in research for the modern earth technique of compressed stabilised earth block, and today there are a growing number of competent earth builders and building research centres (Golet al 1987) (Pinto, *ibid*).

2.2 Housing and Skill in India

Yet, for earth to be considered as a viable and productive alternative in India, skilled workers must be trained in much greater numbers. In India, there is no strong Technical & Vocational Education & Training (TVET) program (Mehrotra 2014), and formal technical education programs do not sufficiently cover construction skills (Chhabra Anand & Chariar 2016). Masons and construction workers rarely receive formal training, and virtually the only existing training programs focus exclusively on concrete and fired brick. Most construction workers are trained on the job, and their skills are generally quite poor. Among 31 million workers in the construction sector in India, 82.45% are considered unskilled by the government (Chhabra Anand, *ibid*) (Planning Commission 2007). Authorities have even acknowledged that the terrible losses caused by the Gujarat

earthquake of 2001 were mostly caused by very poor quality buildings built without competent labour (GSDMA 2006). Prime Minister Narendra Modi has emphatically stated, “If we have to promote the development of our country, then our mission has to be skill development and skilled India. Let’s make India the skill capital of the world.” (Modi 2015) (Gol). Accordingly, it seems evident that masons and construction trade workers should be formally trained and certified by competent institutions to meet government targets for the growth rate of the housing sector (Gol).

2.3 Demand for Education in Earthen Architecture

Currently there are only a few institutions in the world which train engineers and architects in earthen architecture. Yet training for masons and technicians in earth is largely forgotten. Who can pay for their education? How can programs be financed which sponsor masons for a full 1-year fellowship of vocational training program? How can masons develop sustainable livelihoods when their training is complete? The AVEI School’s goal to finance masons’ education has been verified through operational sustainability analyses. AVEI is committed to developing this program for masons with the conviction that its existence will impact the Indian housing market and provoke government officials to find viable solutions to subsidize national training for skilled construction workers.

The demand is growing, in India and abroad, for a comprehensive and holistic approach to the study of earthen architecture, which addresses sustainable design and construction practice, climate responsive design and natural resource management. In the last 15 years, young generations of Indian architects have consistently demonstrated a desire to design and build with earth; however, few initiatives succeed at a larger scale because no organization in the country is training earthen masons. AVEI trainees – presently mainly architects, engineers, self-builders and students – have developed numerous marketable skills. However, they have difficulty implementing their skills, because they cannot find skilled technicians and masons to build their projects. Effective, collaborative networks for trained individuals at all professional levels do not exist. Therefore the greatest obstacle to wide scale implementation of contemporary earthen techniques has been largely a matter of awareness and coordinated skill. The operational aim of this initiative is to train and link large numbers of skilled professionals for sustainable start-up ventures in national and global housing markets. For this, it is necessary to educate and train networked teams of architects, engineers, technicians and masons, in order to provide them with the means to work as entrepreneurs in their area of expertise, to provide a common knowledge base and to facilitate communication across all professional levels.

3. EDUCATIONAL PROGRAMS, CURRICULA & PEDAGOGICAL PHILOSOPHY

3.1 Educational Programs of the AVEI School

The following educational programs will be offered at the new AVEI School:

- *Awareness courses* will continue to be offered in greater numbers for all skill levels.
- *Short Term Intensive Courses* of one and two weeks’ duration will continue to be conducted for varied skill levels. Certificates are issued at the end of each workshop in accordance with AVEI’s UNESCO chair designation. The present structure of these workshops will be extended, allowing for a greater capacity of participants and a growing range of courses.

- *Long-term internships* will continue to be conducted for students of architecture and engineering. The primary target group are students fulfilling academic internship requirements, who work in the architecture department on project design development, in the research department on embodied energy analysis of buildings, in the laboratory for research on material technologies and building systems, or in the field on construction projects.

- *PhD & Post-doc researchers* will continue as at present.

- *One Year Degree/ Diploma Programs* for students and professional have been organised at three levels as the core development of the AVEI School. The curricula for all three programs will be carefully coordinated, to emphasize a common knowledge base for architects, engineers, masonry technicians and craftsmen. Teaching Modules will include: A. History & Conservation (4 credits); B. Techniques Theory (9 credits); C. Techniques Practice (12 credits); D. Sustainability (5 credits); E. Architectural Project & Thesis (20 credits); F. Practical Site Management (10 credits); and G. Exams. The following programs will be offered:

Post-Graduate Course (for Architects & Engineers): The curriculum for this course, modelled on CRATERRE's DSA (CRATERRE-ENSAG 2016), will emphasize design practice and related theory, with case studies and an independent design-research project. Students will also work on practical, hands-on exercises related to materials and will have a short-term residency period on site. This program will target university level graduates of architecture and engineering (B.Arch, M.Arch, B.Eng, M.Eng) from India and abroad.

Post-secondary Course (for Masonry Technicians): The curriculum for this course will be similar to the curriculum for the Post-graduate course, with notable differences emphasizing earth techniques best suited for the climates in India. The curriculum and student design projects will focus on the translation between design, engineering and construction through technical design, site supervision and enterprise management. There will be a medium term residency for on-site training. This course will target graduates of Indian secondary technical track schools (or individuals with a secondary level education equivalent to the Indian 10th standard).

Vocational Course (for Masonry Craftsmen): The curriculum for this course will focus on topics pertaining to masonry craftsmanship, with additional topics selected according to the students' level of knowledge and skill (e.g. drafting, material and cost estimation, accounting, micro-financing and entrepreneurship, etc.). The teaching methodology for this program will be predominantly hands-on and practice-oriented, with a long-term vocational residency of on-site training. This program will target underprivileged building craftsmen and unskilled workers with a strong motivation to invest in professional education, and will be subsidized to answer to an acute need for more skilled and resource-conscious building professionals in India.

AVEI proposes to grant the following diplomas as a formal sanction of knowledge:

- Post-graduate degree/ diploma "Earthen Architecture" to architects and engineers
- Post-secondary diploma "Technician of Earthen Construction" to masonry technicians
- Vocational diploma "Master Earth Mason" to masonry craftsmen

3.2 Pedagogical Philosophy & Core Competencies

The curricula of the AVEI School will reinforce co-educational principles across all socio-economic levels, to stimulate knowledge exchange, professional collaboration and

entrepreneurship opportunities for a network of new leaders and decision makers in sustainable practice. Education will focus on earth as a building material, with core competency topics including modern and traditional earthen construction technologies, vernacular construction methods, cost-effective / low-carbon appropriate building technologies, climate appropriate and ecologically sensitive design / development / construction practices, natural resource management, circular ecology principles and sustainable livelihoods. Coordinated management of natural and human resources (i.e. consideration for both local ecological and livelihood needs) is considered as the institution's principle target for sustainable development.

Theoretical courses will be balanced with active pedagogy (i.e. practical exercises) to provide hands-on and on-site training at all levels, to develop quality workmanship skills and reverence for craft. Teaching methodologies will build upon students' soft skill capacities to instruct others and serve as trainers/supervisors, for the promotion of secure training multiplication. Special attention will also be given to fostering basic entrepreneurial skills to encourage the establishment of small scale production units for employment and economic gain in rural areas.

The school's pedagogical philosophy goes beyond merely technical, instructive education, and aims for creative and transversal education for makers (Doat 2014) (Bayl-Smith 2011). Arts and culture components will offer students the opportunity to participate in the construction of traditional Indian building typologies and to work with heritage construction techniques and materials. Innovative didactic methods will be employed to synthesize low-tech and high-tech approaches (e.g. with digital design tools, computation and 3D software). The school intends to foment a culture of design and creative problem-solving for real-world challenges. Student theses will ideally aim at developing useful, endemic solutions specific to students' home contexts – making the school a design-build laboratory which may further applied research in the field.

4. GLOBAL ALLIANCES & PARTNERED ACADEMIC RESEARCH INSTITUTIONS

4.1 Accreditation & Endorsements

AVEI's qualifications to teach one-year degree programs are outlined by its UNESCO chair designation. Accreditation within the Indian academic system is forthcoming. The AVEI School initiative has been endorsed by a number of prominent UNESCO representatives, government leaders, leading academicians and respected practitioners.

4.2 Institutional Partnerships

AVEI is the Representative for Asia for the UNESCO Chair "Earthen Architecture, Constructive Cultures and Sustainable Development". The main objectives of the chair are to accelerate research and development worldwide, including the dissemination of scientific and technical know-how on earthen architecture amongst the higher education institutions in the following three domains: environment and heritage, human settlements and economy and production.

An academic partnership agreement has been established with CRAterre-ENSAG (The International Centre on Earthen Architecture, Grenoble, France) for AVEI to offer long-term training courses to CRAterre post-master's students. AVEI also frequently partners with

academic institutions for collaborative scientific research ,including the following from 2012-2015:IIT Madras, Department of Civil Engineering, India; Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich), Department of Architecture, Switzerland; Nottingham University Centre for Geomechanics, Faculty of Engineering, UK; Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanism, Algeria; Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France; Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA.

AVEI is also part of a network of institutions at the local, state and national level which aim collectively to impact sustainable livelihood development in India. Among them is the Tamil Nadu Sustainable Livelihood Institute (SLI), for which AVEI is participating to deliver equitable and environmentally conscious livelihood training for the state of Tamil Nadu.This program is envisioned to act as a feeder program for the AVEI School, while impacting policy decisions related to appropriate resource management.

5. CAMPUS PLAN

The AVEI School campus (Fig. 1) has been designed to incorporate a wide range of vernacular techniques (e.g. adobe, cob, wattle & daub, raw rammed earth) and modern stabilized earth techniques developed at AVEI (e.g. CSEB, poured earth concrete, rammed earth walls and foundations, composite earth columns, beams and ring-beams, CSEB vaulting, interlocking blocks for disaster resistance, thermocrete insulation, stabilized earth plaster and waterproofing, stabilized earth roads).

With a gross floor area of 9,644 m², the buildings include a Conference hall (Fig. 2) (earthen hyperbolic paraboloid – “hypar”built with CSEB and poured earth concretewalls), Administration hall (Fig. 3) (Catalan conical vaults and staircase with CSEB), Exhibition hall (contemporary and vernacular earthen techniques), Underground parking (earth berm vault with rammed earth and CSEB), Masonry hall and laboratories (Fig. 4 & Fig. 5) (24m span earthen vault built with CSEB without formwork and with interlocking CSEB walls), Student Boarding (B+4 multi-story earthen construction), Classrooms (segmental dome with CSEB) and Dining hall (freeform vaulting with CSEB and poured earth concrete walls).

The campus will make maximum use of local materials (soil excavated on-site) to minimize and carefully record its initial embodied energy. In the principle of the circular ecology, soil excavations will be transformed into ecological landscape features (e.g. for rainwater percolation and catchment systems, earth tunnels, basement floors, decentralized wastewater treatment systems, etc.) (Fig. 6). Climatically appropriate, passive design strategies will aim to optimize natural lighting and ventilation for greatest energy efficiency and low operating energy.

The construction of the AVEI School is envisioned to impact the acceptance of earthen building, locally and at large, by pushing the material to new limits. With sensitive design for the cultural context, climate, local ecology and site, the campus will be a demonstration of best-practice natural resource management and sustainable land management practices with earth as a building material. The creation of this unique school of earthen architecture will give young generations of architects, engineers and builders the tools to develop and manifest innovative solutions in earthen construction.



Fig. 1: Campus plan & building features



Fig. 2: AVEI campus with masonry hall (24m span vault) & conference hall (hypar)



Fig. 3: Entrance of the administration



Fig. 4: Interior View of Masonry Hall



Fig. 5: Training Course for Local Women

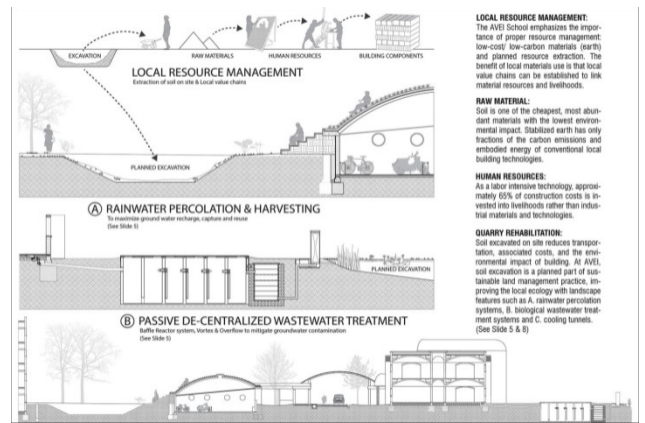


Fig. 6: Sustainable land management practices

BIBLIOGRAPHY

Maïni, S., & Davis, L. (2014). *AVEI School of Earthen Architecture: For Vocational, Post-Secondary & Post-Graduate Education – Project Proposal*. AVEI, Auroville, India.

UNESCO, ENSAG (1998). *Accord entre l'UNESCO et l'Ecole d'Architecture de Grenoble concernant la creation d'une chaire UNESCO Architecture de Terre, Cultures constructives et Développement Durable*. UNESCO-EAG, Paris.

Office of the Registrar and Census Commissioner (2001). *Census Report 2001*. Government of India, New Delhi.

Pinto, H. (2015). Mud Architecture of the Indian Subcontinent: From Tradition to Contemporary. *Proceedings for the Eighth International Earthbuilding Conference*, ed. Quentin Wilson, Earth USA 2015 - Adobe in Action, Santa Fe.

Houben, H. & Guillaud, H. (1994). *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. CRATerre-EAG, Intermediate Technology Publications, London.

India Environmental Portal (1992). *Mud housing is the key*. Retrieved from <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/19/mud-housing-is-the-key/>

Correia, M., Carlos, G., & Rocha, S. (Eds.) (2013). *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*. CRC Press.

Petzet, M. & Ziesemer, J. (Eds.) (2008). *Heritage at Risk: ICOMOS World Report 2006/2007 on Monuments and Sites in Danger*. E. Reinhold-Verlag, Altenburg, Germany.

Menon, A. & Murty, C.V.R. (2014). *Status of Masonry Education in India - Abstract*. National Centre for Safety of Heritage Structures (NCSHS), IIT Madras.

Maïni, S. & Thautam V., AVEI (2009/2013). *Embodied energy of various materials and technologies, Calculations*. AVEI, Auroville, India.

Government of India, Ministry of Urban Development, Government of Kerala, HUDCO, All India Housing Development Association, Economique et Humanisme (1987). *International Conference on Mud Architecture* (Vol. 25), Trivandrum, India.

Mehrotra, S. (2014). 'Make in India' will remain just a mantra unless India gets cracking with vocational training. Retrieved from http://articles.economicstimes.indiatimes.com/2014-10-07/news/54735514_1_training-china-senior-secondary-level

Chhabra Anand, M. & Chariar, VM (2017). 'Where are all the masons trained in disaster resilient technologies?' Reflections from Indian experiences of capacity building of masons and building artisans. *Building Owning & Belonging: A Compendium on Owner Driven Housing Reconstruction in Sri Lanka, India and beyond*. European Union, UN-Habitat.

Planning Commission. (2007). *Report of the Working Group on Construction for 11th Five Year Plan (2007-2012)*, Government of India, New Delhi.

GSDMA (2006). *Damage assessment of buildings. Study on damage and loss assessment methodology in Gujarat*, Volume-III, Annexure-7. Gujarat State Disaster Management Authority, Gandhinagar, Gujarat, India.

Modi, R. (2015). *Billboard quotation*. Government of India, New Delhi, India.

Government of India (n.d.). *National Skill Development Mission: A Framework for Implementation*. Retrieved from <http://www.skilldevelopment.gov.in/assets/images/Mission%20booklet.pdf>

Government of India (n.d.). *Make in India - Construction*. Retrieved from <http://www.makeinindia.com/sector/construction>

CRATerre-ENSAG (2016). *DSA - Architecture de Terre*. Ministère de la Culture et de la Communication, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, LABX AE&CC, Grenoble.

Doat, P. (2014). *Les trois idées-clef d'une pédagogie dynamique pour un enseignement de la créativité architecturale par l'expérimentation*. ENSAG, Grenoble.

Bayl-Smith, M. (2011). *BuildAbility: The Future of Construction Education*.

BRIEF BIOGRAPHICAL NOTE

Lara Davis is an architect and co-director of AVEI. She has 16 years of experience in masonry research, design and construction, and specializes in the structural design and construction of earthen vaulting. She holds an M.Arch from MIT, with notable research at the MIT Masonry Research group, ILEK/Stuttgart and BRG/ETH Zürich.

Satprem Maïni is a French postgraduate architect in earth architecture. He is the director of AVEI. He has worked in 36 countries and with his team has trained over 11,600 people from 82 countries on earth architecture. Satprem is the Representative for Asia of the UNESCO Chair "Earthen Architecture". He has been granted 13 awards.



Enseignement modulaire innovant sur la terre crue

Kateryna FLEITH, Eric ALBISSER, Dominique GAUZIN-MÜLLER, Mickaël MULLER,
Michaël OSSWALD

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUME

Ce projet a reçu le soutien des Investissements d'Avenir à travers les Initiatives d'Excellence en Formations proposées par l'Université de Strasbourg, dont l'objectif est la mise en œuvre de projets innovants. Il a débuté en Septembre 2013 avec la mise en place d'un programme d'enseignement modulaire intitulé « Construire en terre crue » au sein de la Licence Professionnelle « Construire Ecologique » afin de répondre à la demande croissante des étudiants, des professionnels et des particuliers alsaciens d'être formés aux techniques de construction en terre crue.

Les enseignements sont axés sur les techniques de construction durable, qui valorisent les matériaux locaux, respectueux de l'environnement. L'alternance entre théorie et pratique permet de stimuler l'innovation par une meilleure connaissance des caractéristiques constructives du matériau.

Deux sessions en formation initiale ont déjà été dispensées au sein de l'Université et de l'ENSA de Strasbourg au niveau Licence Professionnelle, et une session de formation continue est proposée en 2015.

Le colloque « La Terre avec ... », organisé en Octobre 2014 à Strasbourg, a permis de réunir étudiants, enseignants et professionnels autour du matériau terre crue. À cette occasion, une session d'ateliers pédagogiques a été dispensée en partenariat avec Atelier Matières à Construire (amàco).

De plus, un chantier-formation, basé sur la réalisation d'un local au sein de l'Université, est prévu courant 2016.

1. INTRODUCTION

L'architecture et par conséquent la construction en terre crue (matériau naturel largement disponible sur toute la planète) ont actuellement le vent en poupe. En effet, de plus en plus de projets de grande qualité esthétique et technique émergent en France et ailleurs. La création, cette année, du premier prix international de la construction en terre crue TERRA Award confirme l'engouement croissant des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour cette technique.

A contrario, le faible nombre de projets en terre crue dans le bassin rhénan (entrepôt RICOLA à Laufon, Maison du patrimoine culturel à Dehlingen, ces deux projets étant réalisés par des entreprises non locales) nous incite à proposer des nouveaux modules de formation axés sur ces techniques de construction. L'objectif du projet est de créer un parcours modulaire innovant s'adressant aux étudiants en formation initiale des établissements partenaires, mais également aux professionnels et particuliers en formation continue. Les enseignements sont axés sur les techniques de construction durable permettant de valoriser les matériaux locaux et respectueux de l'environnement. L'alternance continue de la théorie et de la pratique permet de stimuler l'innovation par une meilleure connaissance du matériau constructif afin de former des professionnels capables de relever les défis de la construction durable.

2. LICENCE PROFESSIONNELLE « CONSTRUIRE ECOLOGIQUE »

2.1. Présentation de la formation

Le projet d'une Licence Professionnelle « Construire écologique » (LPCE) est né de la rencontre entre le département Génie Civil de l'IUT Robert Schuman et l'ENSA de Strasbourg (ENSAS).

En effet, l'IUT Robert Schuman souhaitait compléter son offre de formation de façon à répondre à une demande de compétences liées à la construction écologiques de plus en plus pressante de la part de la maîtrise d'œuvre, des entreprises du bâtiment et de la maîtrise d'ouvrage.

Alors que l'ENSAS souhaitait permettre à des étudiants inscrits dans les ENSA françaises de pouvoir sortir, si la volonté est là, en fin de deuxième année de Licence avec la possibilité d'accéder à une formation professionnalisante qui soit un débouché avéré.

Cette formation proposée conjointement par l'IUT Robert Schuman et l'ENSAS est un projet pilote, qui ne se rattache à aucune formation existante.

Sa particularité principale est la symbiose entre trois domaines, qui sont : l'architecture, les structures et les énergies.

Ainsi, l'étudiant diplômé est en mesure de collaborer avec l'ensemble des acteurs concernés par l'éco-construction tant en phase préalable de projet qu'en phase opérationnelle. Il peut apporter une assistance en ce qui concerne les éco-matériaux et l'éco-construction pour des projets de constructions neuves et des projets de rénovation. Il est en mesure de collaborer avec un architecte ou un maître d'ouvrage dans le cadre de projets d'architecture énergie positive, énergie zéro ou basse consommation.

La LPCE s'articule principalement autour de deux domaines de compétence : les éco-matériaux et l'éco-construction, lesquels sont fondés sur le savoir et l'heuristique. L'objectif principal est d'être capable de prospecter de façon actualisée, afin de mettre les matériaux en œuvre en fonction de leurs spécificités dans les dimensions architectoniques recherchées et contemporaines

La LPCE forme des assistants concepteurs maîtrisant les dispositifs techniques dans le domaine des éco-matériaux et de l'éco-construction. Les diplômés sont ainsi capables de proposer des solutions techniques constructives écologiques, qui participent à la qualité architecturale recherchée.

2.2. Description du module « Construire en terre crue »

Les enseignements proposés s'appuient sur des méthodes pédagogiques innovantes (des expériences sensorielles permettant de découvrir la matière par le toucher, l'odorat, voir l'ouïe et le goût, des expériences didactiques visant à illustrer le comportement du matériau et à créer un lien entre ces expériences et la réalité du chantier), ainsi que sur la diversité de l'équipe pédagogique, composée d'enseignants-chercheurs, d'architectes et de professionnels.

L'organisation des enseignements hybrides se fait de façon novatrice. En effet, certains contenus peuvent être choisis « à la carte » par les participants en fonction du niveau de connaissances final souhaité. Les heures d'enseignement en tronc commun sont ainsi complétées par des séminaires ou événements optionnels proposés durant l'année universitaire.

Les enseignements du tronc commun s'articulent autour de l'histoire et du patrimoine des constructions en terre crue, des techniques de construction et des expériences didactiques sur les propriétés physico-chimiques du matériau terre (CRATerre 2006), (Fontaine 2009), (Rohlen 2013).

Les enseignements optionnels sont : la réalisation d'ouvrages avec différentes techniques de construction (De Bouter 2006), (Dewulf 2007), (Houben 1989), (Moreteau 2012), (Pignal 2010), les expériences sur les propriétés mécaniques et thermiques des ouvrages, les visites d'ouvrages remarquables du bassin rhénan et des expositions temporaires.

De plus, pour faire naître des idées et peut-être inspirer de nouvelles pratiques, des séminaires sont proposés aux étudiants, professionnels, chercheurs et enseignants. Leurs fonctionnements sous forme de Masterclass permettent de partager des expériences et

des points de vue sur les différentes approches pratiquées dans la construction en terre crue.

Ainsi, les modes pédagogiques utilisés allient des enseignements théoriques, des séminaires mais surtout la manipulation de la matière jusqu'à la réalisation d'un ouvrage. Pour finir, les enseignements présentiels sont complétés par des activités pédagogiques à distance (individuelles ou collaboratives) via la création d'un forum, qui permet le suivi des étudiants et l'évaluation des compétences à long terme (mise en ligne en 2016). Un site web www.alsaterra.eu est en création pour permettre la communication synchrone et asynchrone, le dépôt de documents, la mise en ligne de cours, le partage des connaissances, le tutorat et l'évaluation.

3. MISE EN PRATIQUE DU MODULE « CONSTRUIRE EN TERRE CRUE »

3.1. Année universitaire 2013 – 2014

L'enseignement du module « Construire en terre crue » est dispensé aux étudiants de la Licence Professionnelle « Construire Ecologique » depuis l'année universitaire 2013-2014. Il est organisé de façon transversale afin d'acquérir les connaissances, ainsi que les outils nécessaires à la conception et à la construction d'ouvrages en terre crue. Pour appréhender globalement les principes constructifs et les types d'édifices, une interaction des connaissances dans les domaines de l'architecture, des matériaux, des techniques constructives et de la physique du bâtiment est nécessaire (CRATerre 2006), (De Bouter 2006), (Dewulf 2007), (Fontaine 2009), (Houben 1989), (Moreteau 2012), (Pignal 2010), (Rohlen 2013).

Son contenu s'articule autour des thématiques suivantes :

- Histoire des architectures en terre crue,
- Matériau terre crue,
- Techniques de construction,
- Maîtrise d'énergie,
- Impact environnemental et expertise du patrimoine en terre crue.

Pour l'année universitaire 2013-2014, les enseignements théoriques ont été complétés par la réalisation d'un petit ouvrage. Ainsi, un concours a été mis en place, avec à la clé la réalisation de l'ouvrage retenu par le jury. Les étudiants se sont répartis en groupes de 2 à 3 personnes sur le thème « Réalisation de la stèle de la LP Construire Ecologique » (Fig.1). A l'issue de la présentation de chacun des projets, un vote a permis d'en retenir deux pour la réalisation. Les critères principaux de choix sont la valorisation des techniques de construction en terre crue, la qualité esthétique de l'ouvrage et son coût global relativement faible en favorisant les ressources locales.



Figure 1. Réalisation de la stèle de la LP Construire Ecologique

3.2. Année universitaire 2014 – 2015

Forts du succès de l'année précédente, les enseignements sur la terre crue ont été reconduits pour l'année universitaire 2014-2015. Ils ont bénéficiés du soutien des Investissements d'Avenir à travers les Initiatives d'Excellence en Formations (IDEX Terre Crue 2014-2016).

Dans le cadre du projet IDEX Terre Crue, un colloque « La Terre avec... » a été organisé en partenariat avec l'ENSA de Strasbourg et l'association des professionnels de la terre crue AsTerre. Lors du colloque, la construction en terre crue a été abordée sous les aspects techniques, sociologiques et environnementaux par le biais de conférences, d'expositions (Fig.2) et d'ateliers pédagogiques en partenariat avec Atelier Matières à Construire (amàco) (Fig.3). La participation d'amàco a permis en plus des étudiants de la LPCE, d'accueillir des étudiants d'autres institutions, à savoir les étudiants des deux écoles d'architectures de Strasbourg (ENSAS et INSAS). Ainsi une cinquantaine d'étudiants ont pu participer aux différentes activités proposées sur les trois jours.



Figure 2. Expositions



Figure 3. Atelier sensoriel

3.3. Année universitaire 2015 – 2016

Les étudiants de la LPCE suivent dans un premier temps un enseignement théorique afin d'acquérir les connaissances et les outils nécessaires à la conception et à la construction d'ouvrages en terre crue. Pour illustrer cet enseignement, des visites d'ouvrages remarquables du bassin rhénan sont organisées (Fig.4). Enfin, cet enseignement est complété par un chantier-formation sur le site de l'IUT.

Le chantier consiste en la construction d'un local sur le campus de l'IUT (Fig.5). La technique de construction retenue/proposé est le pisé. Pour ce faire, une ligne de production de blocs préfabriqués en pisé est installée au sein du département Génie Civil. Elle permet la réalisation en simultané de deux blocs pisé d'environ 1 m² de surface. Le choix de la préfabrication du pisé a été une évidence pour ce projet, car il permet de s'affranchir de la période hivernale.

La construction du local permet non seulement d'avoir un chantier-formation sur le site de l'IUT, mais également le suivi in-situ des performances mécaniques et thermiques du matériau terre crue en service, car les parois du local devraient être équipées de capteurs mesurant le transfert de chaleur et de l'humidité. Le suivi de la fissuration de ces parois à long terme est mis en évidence à l'aide d'un système de corrélation d'images.



Figure 4. Merian Garten Lehmhaus, Bâle



Figure 5. Local poubelles, campus IUT

De plus, dans le cadre du partenariat entre les écoles d'architecture (ENSA et INSA) et l'IUT, des sessions de découverte des propriétés physico-chimiques de la matière terre sont proposées durant l'année universitaire 2015-2016, complétées par des conférences sur l'architecture en terre crue.

Une session de trois jours en formation continue est également proposée aux professionnels et aux particuliers courant du mois de Juin 2016. Cette formation reprend les enseignements et compétences acquises lors du module « Construire en terre crue ».

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous espérons que fort de ces nouvelles compétences, le diplômé est plus à même de collaborer avec l'ensemble des acteurs concernés par l'éco-construction tant en phase préalable de projet qu'en phase opérationnelle. Qu'il apporte une vision nouvelle en ce qui concerne l'éco-construction pour des projets de constructions neuves ou de rénovation et soit en mesure d'apporter une assistance opérationnelle à un architecte ou à un maître d'ouvrage dans le cadre de projets d'architecture énergie positive, énergie zéro ou basse consommation.

Nous souhaitons que les enseignements Terre Crue plébiscitent le même engouement en formation continue qu'en formation initiale et que les réalisations en terre crue suscitent la curiosité de l'ensemble des usagers du campus universitaire d'Illkirch.

Nos perspectives sont de pérenniser les enseignements Terre Crue au sein de l'Université de Strasbourg, ainsi que les journées "découverte et rencontre". De plus, nous souhaitons mettre en ligne un site internet permettant l'accès aux événements et informations liés à la terre crue dans notre région l'Alsace.

BIBLIOGRAPHIE

- CRATerre (2006). *Traité de construction en terre*, Editions Parenthèses.
- De Bouter, A. et King, B. (2006). *Concevoir des bâtiments en bottes de paille*, Editions Eyrolles.
- Dewulf, M. (2007). *Le torchis, mode d'emploi*, Editions Eyrolles.
- Fontaine, L. et Anger, R. (2009). *Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture*, Editions Belin.
- Houben, H. et Guillaud, H. (1989). *Earth construction comprehensive guide*, Editions Parenthèses.
- Moreteau, S. (2012). *Enduits de terre crue*, Editions Terre vivante.
- Pignal, B. (2010). *Terre crue : techniques de construction et de restauration*, Editions Eyrolles.
- Rohlen, U. et Ziegert, C. (2013). *Construire en terre crue*, Editions Le Moniteur.

NOTICES BIOGRAPHIQUES DES AUTEURS

Après des études d'ingénieur en Génie Civil en Ukraine, **Kateryna Fleith** complète sa formation par un doctorat à l'Université de Lyon. Elle débute ensuite son activité de maître de conférences à l'Université de Strasbourg, où elle enseigne la construction béton armé et terre crue.

Eric Albisser est diplômé en 1993 de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg où il enseigne le *projet* et est responsable pédagogique de la Licence Professionnelle Construire Ecologique. Il exerce comme architecte indépendant depuis 1995 en focalisant depuis 2002 sur l'architecture bioclimatique et les matériaux biosourcés.

Architecte française installée en Allemagne depuis 1986, **Dominique Gauzin-Müller** est spécialiste de l'architecture écoresponsable. Elle enseigne à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Strasbourg sur ces sujets auxquels elle a consacré douze livres. Elle est aussi rédactrice en chef du magazine EcologiK/EK et Professeure honoraire associée de la chaire UNESCO-CRAterre des architectures en terre.

Après des études d'ingénieur en Génie Civil à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industrie de Strasbourg, **Mickaël Muller** complète sa formation par un doctorat. Il débute ensuite son activité de maître de conférences à l'Université de Strasbourg, où il enseigne la construction bois et terre crue.

Après des études d'architecture à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, **Michaël Osswald** co-fonde l'agence G. studio où il conçoit et auto-construit des bâtiments en bois, bottes de paille et terre crue. Il débute ensuite son activité de Maître assistant à l'ENSAS, où il enseigne la construction écologique.



Shifting perceptions: Establishing an Earth Building Organisation in the UK

Daniel MASKELL, Rowland KEABLE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The UK has a rich heritage of earthen buildings and recently a renewed interest in the use for contemporary construction. It is estimated that the UK has thousands of earth buildings including residential, educational, commercial and religious buildings built with a wide range of earth techniques. However earth building is relatively unknown within the construction industry and there is lack of awareness across all construction professions, funders and insurers; all key parties to further adoption of earthen building materials.

This paper will review the establishment of the UK's national earth building organisation, commenting retrospectively on the successes and challenges. As a new organisation with no natural geographic centre and widespread voluntary human resources we have been shaped by projects led by passionate individuals. The project approach has also been supported from within the group. We also discuss the need for developing the organisation as a charity (NGO). This change of governance also grew from our project based approach. Similar national organisations in other countries may benefit from this review which we hope will help achieve our objective of the growth and awareness of earthen construction.

1. INTRODUCTION

While the UK has a rich heritage of earth construction and growing number of contemporary buildings, it remains obscure. To address this, a national association was established to grow and raise awareness of earth construction. This paper discusses the need for a national association for earth building and the associated success and challenges faced in the UK as a case study. Its particular path to growth as an effective body may help encourage or grow other national organisations.

The context for people working in earth building in a variety of capacities including; builder, designer, academic or local authority is typically working in isolation. In a project there is often only one perceived 'expert' in earthen construction. Sharing knowledge and experience within a community of earth builders and professions with the support of academia changes how the sector operates from a personal and regulatory perspective. Within the UK an association was developed with encouragement particularly from German DVL. People working in isolation may lack the confidence to come together, particularly when engaged in a practice which has a low threshold of understanding or respect from the industry or society it is operating within.

The focus on earth as locally available resource, a perception of reduced cost, a growing understanding of hygrothermal benefits of earth used in buildings have all contributed to the renewed interest in earth as a modern building material. The growing interest demanded a networking hub for all involved in earth construction. This paper discusses the development of the national organisation into a multi-functional, trans-national charity (NGO). The objective of this paper is to offer a case study of the development of the organisation aimed at increasing awareness of earthen construction in the UK.

2. UK Context

The wider picture of construction in the UK has been wide-scale use of high energy building materials which fit into the general classification of products. The commercial

success of products over skills has been a feature of construction which makes it both extremely profitable as a sector and highly vulnerable to wider economic shocks (Duca et al., 2010 and Nistorescu et al., 2010) Products have led to the growth of standards and certification and the impact on the socio-economic landscape (Turk 2009 and Nistorescu & Ploscaru, 2010) including the dilution of skills-based construction sector.

There has been a growing recognition of the environmental impact of construction. Currently a quarter of the global carbon emissions can be attributed to the construction and occupation of building (Metz and Davidson, 2007) with 10% of all CO₂ coming from cement production alone (Environmental Assessment Agency, 2014). The UK government has recognised this challenge and has set targets for all buildings to be carbon neutral by 2019 with domestic buildings needing to meet this requirement by 2016. Current regulations for carbon neutral buildings relate to operational energy, but this may change in the future.

Meanwhile earth building in the UK has as long a history (Morton, 2007) as most other areas of the world (Houben & Guillaud, 1994). The use of earth as a building material was largely vernacular, with whole towns in the UK constructed of locally sourced clay with regional variations of cob, clay mortared clay and stone blocks, wattle and daub and rammed earth. This practice continued until the industrial revolution from the 18th to the 20th century. Industrialisation and mass transport had a massive impact on earth building with a dwindling number of people with the skills to use it. This was in stark contrast to the idea of 'modern' construction materials and a 'modern' architecture. However the existence of thousands of earth buildings ensured it remained current for a range of different people. These included those living and maintaining the buildings, local authorities, NGO's and government concerned with the protection of UK heritage. While new build in the UK and Ireland has largely been with cob and earthen plasters other skills in wattle and daub and clay mortared masonry are also gaining use and interest. Rammed earth has attracted interest in highly contemporary designs such as the CAT centre at Wise as in Fig. 1. Maskell et al., (2015) has demonstrated the potential for earth to be used as a structural material potentially meeting certification requirements whilst delivering significant environmental benefits.



figure1: Contemporary Rammed Earth at WISE, Wales

3. DEVELOPMENT OF THE UK AND IRELAND'S NATIONAL ORGANISATION

3.1 Establishing the need

With heritage issues and growing interest in new earth construction in the UK and Ireland, there was a need to establish the scope of interest from a range of interest groups. Within the UK this began with a practitioner, an academic and an architect each inviting their own contact group to a meeting. That meeting had two main themes: is a national organisation necessary and if so what form should it take. That early discussion became the de-facto constitution of EBUKI.

The meeting recognised that while there is interest in earth building across all design, build and academia areas none of them have the interest to support a national body. Further, a national body without representation from all interested parties would lack the skills needed to understand all of the elements of earth building. Both conservation and new build groups have increased their understanding and activities over the past 20 years. Conservation builders, designers and researchers have had a tremendous impact on the building industry with the 'rediscovery' of lime which has not only had a beneficial effect on conservation but also in new build. Likewise the new build group have tested the interest for earth buildings, including within the regulators that control the sector.

3.2 Establishing an effective body

Initially the organisation lacked a coherent or effective means to meet, act and move forward. Having formed an association the skills to operate it may not necessarily exist within the body of people who have recognised the need for it. In the UK's case having started there was a period of existing in theory but struggling to organise and act together.

An early success in building the organisation was first one, then a series of annual conferences. It was through conferences that networking between the different disciplines was facilitated and the years activities disseminated. EBUKI was and remains a group of highly committed individuals who are geographically wide spread; meeting requires both time and money. The conference allowed both company law to be respected as it was the Annual General Meeting, and the annual event for Directors to meet all together face to face.

The annual conference generates a financial surplus, initially EBUKI's working capital. It was not enough but with some creativity the organisation started to represent itself at trade shows, to regional earth building groups, on the internet and social media. These are low cost actions which show who in the organisation is willing and able to be active and bring about change.

3.3 Overcoming management issues

For a national organisation to function and have impact representation is required from across the country, issues in different areas lead to diverse challenges and possibilities. However, representation from across a country imposes significant logistical challenges for meeting and moving the organisation forward.

Recognising the need for a core group to speak on a regular basis resulted in monthly conference calls. The technology allowing regular meetings together across the country

fundamentally changed the organisation. Technology in this case is a significant means to operate nationally but at ultra-low cost. This is something which is replicable in many parts of the world. Conference allowed yearly group discussion of strategic issues such as company structure and future planning but the monthly skype considers tactical issues, upcoming activities and responding to a dynamic membership. As funds increased the executives were able to meet face to face more often, a vital change.

Initially the executive group was self-selected, people working professionally, as practitioners or academics. It took time to understand there needs to be a 'honeymoon' for new executives to ensure they are a 'good fit' for the organisation and find the role fulfilling. Organising a not-for-profit national group uses different skills to those in practice or academia. While intention to help is always appreciated, only delivered actions achieve results.

3.4 Gaining charitable status

The constraints of the UK company and tax structures also played a role in organisational effectiveness. As a membership organisation the two initial lines of funding were membership and conference fees. January and February, a good time for conference and membership renewal, is just before the end of the UK tax year. So money the organisation had earned had to be spent or paid in tax. The focus to become a tax exempt registered charity or NGO had impacts beyond just financial ones. In the UK organisations need £5,000 to obtain tax free status and the route to this funding changed our understanding of what a national organisation status could do for us.

EBUKI were approached by a group of European earth building organisations working on the European Credit for Vocational Education & Training system (ECVET), what became the Pirate Project (ecvetearth.hypotheses.org). This project developed training standards, allowing EBUKI to participate in a project which is changing the landscape of European and UK earth building training. Pirate also brought the working capital to gain tax free status and was the first opportunity to pay part time staff. This changed the structure of EBUKI from purely volunteer directors to paid and unpaid executives.

The changes in the organisation have been a mix of reactive and pro-active, with one activity triggering another. Invitation to join one project has led to change in tax and employment for the organisation, leading in turn to more possibilities for further collaboration and project proposals. Without the vehicle of a national organisation none of these activities could be considered as they require the support of a range of skills and member organisations to realise. In turn the members need the support of the organisation to allow wider ranging projects to be considered.

3.5 Project led approach

Changes to EBUKI's structure allowed for a greater focus on projects, championed by the executive, but with support the members. The projects to date have been widespread, including website development, mapping Earth buildings in the UK, development of training and standard sand a way to measure progress.

As the ECVET project has developed there has been an increasing focus on the outputs. A key output of the Pirate project was the 'Units of Learning Outcomes'. EBUKI approached the UK Construction Industry Training Board (CITB) proposing a change to the UK National Occupational Standard (NOS). This has significant impact on vocational training within the UK. EBUKI was uniquely positioned as experts on the CITB Technical

Committee (TC), as a professional organisation to 'the industry' and achieving a nationally recognised training standard.

In 2013 EBUKI were invited to Craterre's Grains d'Isère festival of earth building. EBUKI were invited again in 2014 and encouraged to host Clayfest in 2015, a workshop based event combined with our annual conference. EBUKI's conference has always moved around the country, reaching out to different groups offering support where it can. Clayfest will also move around the country, seeing local practice demonstrated rather than on a screen. Earth builders are reluctant to travel far to such events, going to them means seeing local practice and meeting local practitioners too, a vital part of the process of stimulating earth building



fig 2 Clayfest was a very effective means to meet, market, share, network

3.6 Regional Groups

There are existing regional earth building groups in the UK, notably the Devon Earth Building Association (DEBA), the East Anglian Regional Telluric Houses Association (EARTHA) and the East Midlands Earth Structures Society (EMESS). Each has existed for some time with committed older members. EBUKI seeks to help these regional groups grow a younger membership; developing a strong group of regional organisations affiliated to EBUKI or directly as part of EBUKI, such as the newly formed Scotland group.

EBUKI were approached by interested builders in Ireland first to speak at conference, then to have an Executive role and finally to bring Ireland into the organisation. This led to renaming the organisation, but posed challenges to the brand that EBUKI had established. The legal registration of the name change required UK Governmental approval for the use of Ireland in the title. Cross border issues continue to arise, the different currencies, training structures and regulatory frameworks. Each of these will be met through the experience in EBUKI which also gains new international expertise. November 2015 saw Ireland host the inaugural EBUKI Ireland conference; a chance for promotion and development of earth building in Ireland similar to the establishment of the original EBUKI and development of other regional UK groups

4 CONCLUSIONS

EBUKI has grown as an organisation in the six years since our founding. Growth has allowed us to think about our goals more clearly and plan and organise more effectively. This has been an organic process and one which has brought us in contact with local, regional, national and international opportunities and challenges.

Without a national organisation reaching out to professional bodies, user groups, contractors, local government and standards bodies would not have happened. To change the National Occupational Standard and approach training colleges with the new standard would all have been pipe dreams. Similarly the work we are doing connecting regional groups and re-invigorating them would not be possible.

Our connection with a whole European network has come about through forming as a national body. We have had valuable insights and support from a number of them. Not only has this reshaped our organisation and its thinking, funding and planning, it has shown us that where countries don't have a similar organisation making connections is much harder. And the benefits of sharing our knowledge, joining together to change the rules to allow earth building remain more distant.

Europe has a high proportion of the existing national earth building organisations. These have become more successful in cooperation and collaboration. Globally this is far from the norm and as such further international cooperation will be harder to foster and sustain. In the case of much of Africa there are thousands, if not hundreds of thousands working with earth building and who remain isolated and unrepresented within national boundaries. With national associations' people who need training in earth detailing and design, marketing and business could benefit and have greater impact on home markets and in international cooperation.

EBUKI is a growing organisation with clear, but grand aims and objectives. From the development of EBUKI we have seen that only with the formation of a national association can the development of earth building can really progress. Collaboration at local, national, regional and international level has proven to be a key driver for success.

REFERENCES

- BIS (2012). Monthly statistics of building materials and components. Technical report, Department for Business, Innovation and Skills.
- Duca, J. V., Muellbauer, J., & Murphy, A. (2010). Housing markets and the financial crisis of 2007–2009: lessons for the future. *Journal of Financial Stability*, 6(4), 203-217.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: a comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications.
- Maskell, D., Heath, A. and Walker., P (2015) Appropriate structural unfired earth masonry units. *Proceedings of the ICE - Construction Materials*. In press.
- Metz, B. and Davidson, O. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Morton, T. (2007). Towards the development of contemporary Earth Construction in the UK: drivers and benefits of Earth Masonry as a Sustainable Mainstream Construction Technique. In *International Symposium on Earthen Structures*, Indian Institute of Science, Bangalore (Vol. 2224).

- Nistorescu, T., & Ploscaru, C. (2010). Impact of economic and financial crisis in the construction industry. *Management & Marketing-Craiova*, (1), 25-36.
- Sturgis, S. and Roberts, G. (2010). Redefining zero: Carbon profiling as a solution to whole life carbon emission measurement in buildings. RICS Research Report, RICS, London.
- Turk, A. M. (2009). The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case. *Journal of Cleaner Production*, 17(5), 559-569.

BIOGRAPHY

Daniel is the outgoing CEO of EBUKI after two years of busy engagement with the organisation. He is also a Research Associate at the University of Bath working on the ECO-SEE project. His passion for earth construction is mainly within the new build sector; which is fostered by his PhD work. It is his belief that mainstream adoption of earthen construction can utilise the environmental benefits on a wider scale and have a significant and measurable impact. This approach has become the rationale for his current research and will become key to his planned future work in academia.

Rowland is the incoming CEO of EBUKI having helped establish the organisation and been involved as a Project Officer for some years. He works with rammed earth as a material in a wide range of situations. This includes consulting, bringing the technical knowledge of the material to a design team in a new build context. Rowland also provides technical liaison, working with commercial and academic testing facilities in the context of live projects and research work. He teaches mainly to academic students and small workshops while training is mainly on-site in commercial settings. He is also involved in regulatory work, writing, developing and harmonising national standards.



Atelier-formation en architecture de terre

Frederico DE SÁ SENNA PRATES, Daniel MARTINS DA COSTA QUINTÃO

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé

Pendant le mois d'octobre 2009, en partenariat avec l'*Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais* – IEPHA/ MG et la mairie de Santa Luzia, une ville historique classée patrimoine culturel par l'État, située proche de Belo Horizonte, Minas Gerais, au Brésil, l'équipe d'architectes de l'agence o3L arquitetura a mis en place des chantiers pour former des ouvriers locaux pour restaurer et entretenir le patrimoine culturel bâti en terre crue. Les ateliers ont été mis en place dû à un manque de professionnels spécialistes de ce genre de bâtiment en terre crue, qu'il soit à la ville de Belo Horizonte ou ailleurs, qu'il soit parmi les techniciens de l'institut. L'objectif des ateliers a été la promotion et la formation de main-d'œuvre pour réaliser les interventions dans les biens dont les systèmes constructifs comprennent l'adobe et le torchis et dont les enduits des bâtiments datent d'avant 1930. La formation a été ouverte aux professionnels du domaine de projets ainsi qu'aux techniciens responsables des chantiers de conservation et de restauration des biens culturels bâtis en terre crue.

Mots-clés: Formation. Architecture. Terre. Torchis. Adobe. Enduit. Chaux.

1. INTRODUCTION

Le centre historique de Santa Luzia a été classé patrimoine culturel national en 1998 et la protection de ses environs a été établie en 2002. Le classement a souffert d'appels d'une partie importante des propriétaires. Néanmoins, il a été approuvé par une décision judiciaire, car le délai de recours avait déjà expiré. Ce fait met en évidence la désapprobation du classement par les propriétaires. Ceci complique les actions de conservation dans la région. Il y a deux niveaux de protection pour les bâtiments compris dans le centre historique de Santa Luzia. Premièrement, la stricte préservation des bâtiments, ce qui nécessite un contrôle plus strict, étant admis que des interventions en matière de conservation et de restauration de caractère, y compris des chantiers et des services essentiels à la préservation et l'utilisation de biens. Deuxièmement, les bâtiments soumis à contrôle, où des modifications internes et des changements dans les façades visant à intégrer avec l'ensemble sont autorisés. Malgré le classement, la région a subi des changements au fil des ans, ainsi que toute la ville. Le défi est alors de faire correspondre le développement économique et social avec la préservation consciente des caractéristiques du site urbain. Au sein de ces changements récents, nous avons observé de nombreuses interventions, causées principalement par le manque de connaissances des propriétaires et des locataires, dans le domaine des techniques de construction utilisés dans ces bâtiments, ainsi que pour la main-d'œuvre qualifiée capable d'intervenir correctement dans ces bâtiments.

2. LE CENTRE HISTORIQUE DE SANTA LUZIA

2.1 L'historique et caractérisation

Le centre historique de Santa Luzia est constitué d'un dessin urbain 'organique' caractéristique de la période coloniale brésilienne où les rues suivent le terrain naturel. Tout comme les autres villes coloniales de Minas Gerais fondées au XVIIIème siècle, Santa Luzia est très fortement influencé par la religion catholique. Les rues du centre historique de Santa Luzia se sont formées autour de l'église 'Matriz', en reliant les points d'intérêt commercial du territoire de l'état. Cette situation a produit une image urbaine composée

de terrains irréguliers, avec des rues sinueuses, des bâtiments construits dans l'alignement et des grands jardins boisés. L'axe principal est la Rue Direita où se trouvent la chapelle du Nosso Senhor do Bonfim et l'église Matriz de Santa Luzia. En dépit d'être un champ d'exploration aurifère, la ville primitive s'est développée sur la base du commerce local, une fois que le site est situé au milieu du chemin des anciens bouviers, qui ont imprimé à l'endroit un caractère d'emporium commerciale entre les zones de Serro et Paracatu.



Figure 1. Vue partielle du centre historique de la ville de Santa Luzia. Photo o3L (octobre/2009).



Figure 2. L'accès au centre historique depuis la chapelle Nosso Senhor do Bonfim. Photo o3L (octobre/2009).

2.2 L'état de conservation des architectures en terre crue

Les bâtiments en terre crue datés du XVIIIème et XIXème siècles présentent, en général, un état de conservation régulier. Ceci est particulièrement vrai pour les bâtiments d'usage public. Ceux-ci sont soumis aux contrôles des organismes de préservation qui appliquent une surveillance et un entretien adéquats. Par contre les bâtiments appartenant à des particuliers ne jouissent pas toujours d'un bon entretien de réhabilitation. Ceci est principalement dû à un manque de connaissances de la part des propriétaires des techniques compatibles avec les structures d'origine. Souvent les propriétaires optent, par commodité, pour des matériaux pré-fabriqués à faible coût qui sont faciles à trouver sur le

marché et dont l'utilisation ne nécessite pas de main-d'œuvre qualifiée. Notamment, depuis la fin du XIX^{ème}, l'industrie du ciment s'est établie comme l'un des principaux fournisseurs de matériaux et d'outils de construction. On peut constater ainsi que une fois ces nouveaux matériaux industriels sont sur le marché et employés dans la construction, le savoir-faire local, responsable de l'entretien du patrimoine culturel bâti, entre dans un processus de disparition et de dévaluation.

3. LA FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE

3.1 La justification et les objectifs

Compte tenu du manque de professionnels qualifiés, l'objectif de la formation était de promouvoir le développement et la qualification de la main-d'œuvre locale pour effectuer des interventions dans les biens dont le système constructif comprends l'adobe, le torchis et dont les enduits datent d'avant 1930. Cette formation était également ouverte aux professionnels du domaine du projet et aussi à d'autres personnes concernés par les travaux de conservation et de restauration des biens culturels qui utilisent ces types de techniques de construction. La mairie de la ville de Santa Luzia a reçu les inscriptions de ceux qui étaient intéressés jusqu'à un mois avant le début de la formation. Leurs profils sociaux-professionnels étaient assez hétérogènes. Il y avait des ingénieurs, des architectes, des ouvriers de la commune locale, des étudiants d'architecture et de génie civil, en totalisant une vingtaine de participants. L'équipe des formateurs était composé par les architectes de l'agence o3L arquitetura, embauchés à travers d'un appel d'offre de l'Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais, IEPHA/ MG.

Le manque de professionnels, même parmi l'équipe de l'IEPHA / MG, dans le domaine de la technique de murs en terre crue, et la nécessité de cette connaissance pour guider la maintenance et l'entretien des bâtiments ont été les principales raisons de l'embauche des formateurs de l'agence o3L arquitetura. Pour l'IEPHA, l'organisme proposant la formation, le bénéfice créé par ce travail était double, vu qu'en plus de l'élaboration d'un travail de spécialiste de grande qualité technique avec la communauté locale, cette action a permis de former une équipe de techniciens, en particulier ceux qui ont récemment rejoint le domaine du patrimoine bâti en terre.

Les objectifs de la formation devaient inclure les critères suivants :

- Informer et former la main-d'œuvre locale afin qu'elle puisse effectuer des travaux d'entretien et de restauration des bâtiments en adobes et en torchis;
- Démontrer le potentiel des bâtiments inscrits dans le périmètre de classement de constituer une source de création d'emplois et des revenus;
- Produire du matériel pédagogique à des fins éducatives pour les niveaux de l'enseignement primaire, secondaire et supérieur, en abordant les aspects techniques et conceptuels impliqués dans l'intervention ;
- Améliorer la gestion et la surveillance de la zone classée avec la formation de partenaires locaux pour assurer la divulgation d'informations et la sensibilisation de la population.

3.2 Méthodes

À l'origine, le cours de formation devaient proposer des mesures d'intervention directement dans les bâtiments du centre historique de la ville de Santa Luzia, classé patrimoine culturel par l'IEPHA / MG en 1998, ou ses environs établi en 2002. Pour les immeubles privés, il a fallu le consentement de leurs propriétaires. Les bâtiments qui

servaient comme modèle de l'application pratique des connaissances acquises dans la formation seraient choisis dans une étape précédente à la réalisation des ateliers, avec les techniciens de l'agence o3L arquitetura et membres de la mairie de Santa Luzia. Les bâtiments seraient choisis selon les critères de besoin en cas d'urgence ou d'intervention préventive dans le bâtiment et sous réserve de disponibilité et / ou le manque de ressources de leurs propriétaires. Cependant, le manque de temps disponible pour la réalisation de la formation n'a pas permis des interventions dans ceux-ci, puisque les bâtiments indiqués par la Mairie ont requis plus de temps et d'infrastructure pour effectuer celle-ci. Ils s'agissaient de bâtiments privés dont les enduits se détachaient à cause d'une mauvaise utilisation du mortier de ciment. Suite à l'inspection technique effectuée par l'équipe de o3L arquitetura, il a été conclu que des interventions en profondeur du mur en torchis seraient nécessaires. Il a fallu donc démolir les parties du mur en forte dégradation et de les reconstruire à leur état d'origine pour permettre l'application du nouveau enduit. Pour atteindre tous les objectifs de la formation, dont la portée devrait inclure le mur d'adobe et de torchis, et aussi les revêtements - enduit et peinture, dans le délai imparti, les techniciens de l'IEPHA, de l'o3L arquitetura et de la mairie de Santa Luzia ont proposé la création d'un chantier expérimental où les participants pourraient avoir la possibilité de vivre toutes les phases de construction d'un mur de terre crue : de la structure à la finition, indépendamment des bâtiments existants dans le centre historique.

3.3 Le contenu

Le contenu de la formation consistait en la transmission du savoir-faire à la main-d'œuvre locale afin de leur permettre par eux-mêmes d'effectuer l'entretien et la restauration des biens bâtis en torchis ou en adobes, ainsi que les enduits en terre. Il a également fourni aux techniciens chargés de la conception des projets et de l'exécution des travaux les notions nécessaires pour guider les interventions. Par conséquent, il s'est avéré essentiel de caractériser l'insertion du projet dans les secteurs respectifs : une protection complète ou de la conservation et de l'intervention partielle ou la conservation.

3.4 Développement

Les procédures adoptées pour les ateliers ont été développées en deux phases: l'enseignement théorique et l'application pratique des techniques. Les phases ont été développées pendant deux week-ends (vendredi à dimanche) afin de permettre un plus grand engagement de la part des ouvriers et des autres parties intéressées. La formation a été conclue en six jours. Il y a eu un espace de temps entre le premier et le deuxième module de trois semaines pour permettre le séchage des composants construits. Ainsi, l'inspection technique préliminaire a été réalisée par l'équipe impliquée dans l'organisation. Ils ont également conçu le projet du mur en torchis et le moule des adobes. Les supports didactiques distribués pendant les conférences ont été développés par les formateurs, les architectes de l'agence o3L arquitetura. La première étape de la formation a commencé le vendredi soir. Le contenu théorique a été diffusé, couvrant les aspects historiques de bâtiments en terre crue dans le monde et au Brésil, les possibilités constructives de cette technique dans l'architecture contemporaine et enfin les critères de sélection des terres pour la production des adobes et du torchis. Pendant le samedi et le dimanche les ateliers ont eu lieu au jardin de la maison *Solar da Baronesa*, un bâtiment du XVIIIème siècle situé dans le centre historique. Le groupe entier, constitué par les professionnels de la construction, les ouvriers, les enseignants, les ingénieurs, les architectes et les étudiants, comptait à peu près une vingtaine de personnes. Les inscriptions ont eu lieu à la mairie quelques semaines auparavant et les places ont vite été remplies.

Le premier samedi a été destiné à la construction d'un cadre en bois (270 cm x 225 cm) afin d'installer la maille du mur en torchis. Ensuite, environ 150 blocs d'adobe de dimensions 12 cm x 12 cm x 30 cm ont été moulés. La petite taille des blocs se justifie par la présence d'adobes de taille similaire dans plusieurs bâtiments dans la région. La terre fournie par la mairie était de couleur rougeâtre et de nature très collante, ce qui a demandé l'ajout de sable au mélange. Outre le sable, on a également ajouté de la paille sèche. La pratique a démarré par l'essai empirique pour évaluer la composition granulométrique de la terre. Parmi les participants de l'atelier, il y avait un maçon, grand connaisseur de la technique, dont l'héritage a été transmise par ses ancêtres qui cultivaient la pratique de bâtir en adobes dans la communauté où ils vivaient. Son expérience a été décisif pour trouver le dosage à travers sa perception tactile et visuelle. À partir du mélange idéal on a refait l'essai de la décantation jusqu'à obtenir la proportion granulométrique souhaitée. De même, ils se sont produits dans la définition du mélange pour le mur en torchis. Le groupe a été divisé en plusieurs équipes : le tamisage de la terre, la préparation du mortier, l'assemblage du cadre en bois et le moulage des blocs. Dans la deuxième partie de la journée, les participants ont préparé l'ossature bambou pour le mur en torchis. Les piquets verticaux d'environ 6 cm de diamètre ont été placés dans les trous creusés dans les pièces en bois (soubassements et poutres). Le mur en torchis a été conçu dans le but de mettre en évidence les phases constructives, donc les sections ont été laissées en évidence : mur en tissu extensible sans enduit et une partie enduite. Ainsi, le mur prend un caractère didactique en révélant toutes les étapes de la construction. Les adobes fabriqués ont été placés à mi-ombre pour sécher. L'intervalle de trois semaines entre les modules a été suffisant pour le séchage des adobes et du mur en torchis. Dans la deuxième phase de la formation il y a eu la mise en œuvre du mur en adobes, dont les dimensions du cadre ont suivi les mêmes du mur en torchis.



Figure 3. La mise en oeuvre des murs en adobes pendant la formation. Photo o3L (octobre/ 2009).

Ensuite il y a eu l'application de l'enduit et de la peinture sur le mur en torchis construit dans le module précédent. L'approche théorique du deuxième module a evidencé, avec beaucoup d'accent, l'utilisation de matériaux techniquement compatibles aux murs de terre crue, en donnant plus d'importance aux revêtements à base de chaux. L'hydratation de la chaux vive (CaO) a été réalisée un mois à l'avance de la mise en œuvre des enduits et de la peinture. La première inspection technique de reconnaissance du site historique à Santa Luzia a révélé que la plupart des pathologies des bâtiments en terre crue sont associées aux revêtements. De grandes surfaces d'enduits en ciment détachés, l'application de peinture synthétique, des taches sombres et de l'accumulation de la microflore sont des manifestations qui témoignent d'un entretien inadéquate ou inexistant

des bâtiments du site historique. On a également constaté que la plupart des propriétaires des immeubles du centre historique associe la maçonnerie en terre crue aux murs de mauvaise qualité pour ne pas permettre l'adhésion d'enduits à base de ciment. On a souligné donc l'importance du choix des matériaux techniquement compatibles aux murs de terre crue. Initialement, il y avait une résistance considérable de la part des participants à utiliser de la chaux en remplaçant le ciment dans le mortier d'enduit. Mais au moment de la préparation et de l'application du mortier sable - chaux, il y a eu un consensus de la reconnaissance de la bonne maniabilité et de la facilité d'application du mortier, qui a été appliquée sur un côté du mur torchis, résultant en un revêtement uniforme, de faible retrait et de couleur claire. L'atelier de la journée suivante a été consacré entièrement à la peinture. Comme les surfaces enduites étaient suffisamment sèches, il a été possible d'appliquer les couches de peinture à base de chaux, des pigments et de l'eau avec des différents types de terre, réalisées par les participants. Les couleurs variées et la facilité de la fabrication et de l'application ont réveillé l'acceptation dans le groupe. La plupart était surpris par le résultat de la prise de l'enduit à la surface du mur et des possibilités décoratives de peintures à la chaux pigmenté avec de la terre.



Figure 4. Vue partielle du chantier avec les murs en torchis et en adobes dont les techniques font partie de l'architecture traditionnelle locale. Photo o3L (octobre/2009).



Figure 5. Mise en oeuvre de la peinture pendant la formation. Photo o3L (octobre/2009).

Initialement il était prévu de démolir les deux murs à la fin de la formation. Toutefois, les membres de la mairie de Santa Luzia ont jugé bon de les garder et de les intégrer au jardin du bâtiment historique. De cette façon ils peuvent être utilisés à des fins d'éducation au patrimoine culturel au sein de la communauté, vu leur caractère didactique.

4. CONCLUSION

L'utilisation des techniques de construction en terre crue assure, de manière appropriée, la préservation et la conservation des bâtiments du passé colonial. Plusieurs expériences montrent le panorama lamentable de disparition des métiers traditionnels liés à la construction. L'imposition du ciment comme matière première pour la mise en œuvre de toutes sortes de travaux a déclenché un processus dérogatoire sur les techniques du passé, dont l'héritage a été transmis par nos ancêtres.

Malgré les programmes de protection et de documentation du patrimoine culturel créés par l'État de Minas Gerais, desquelles les municipalités bénéficient de transferts financiers consentis pour le maintien de la politique culturelle locale, nous avons constaté que dans la pratique les actions de rétablissement du patrimoine culturel sont parfois détenus ou mal utilisés.

Dans le cadre de la restauration des monuments, il faut mettre en place des mesures basées sur les connaissances des techniques constructives vernaculaires. Les villes du passé colonial ont été construites à partir de ces techniques et sont, encore aujourd'hui, témoins de faits historiques formateurs de notre société. Associée à favorable politique de protection existante dans l'État de Minas Gerais, la formation technique de la main-d'œuvre qualifiée est fondamentale dans les procédures de restauration des biens culturels. Des actions spécifiques de formation de main-d'œuvre à ces fins sont très appréciées dans les villes dont le centre historique est vulnérable à la falsification ou au risque de disparaître.

L'expérience de la formation en architecture de terre à Santa Luzia a prouvé son efficacité, compte tenu de l'engagement des maçons, des architectes, des ingénieurs et des techniciens de l'IEPHA/ MG. La méthodologie adoptée par l'équipe o3L arquitetura a envisagé, avant tout, la prise de conscience des participants, les rendant ainsi diffuseurs, convaincus des possibilités des techniques de la terre crue associée aux matériaux techniquement compatibles, tels que la chaux. La mauvaise utilisation de certains matériaux sur les murs en terre crue a contribué à la dégradation de plusieurs monuments. Ce fait est attribuable en grande partie à l'absence d'information technique sur les procédures compatibles avec ce type spécifique d'architecture.

La dynamique de la formation et les résultats y obtenus ont changé les idées préconçues que jusqu'alors constituaient des menaces à la transmission du savoir-faire traditionnel et à la mise en place de techniques constructives en terre crue.

L'engagement des professionnels de différents niveaux pendant la formation a engendré une ambiance humaine, en particulier marquée par l'échange d'informations. Même les professionnels peu familiers avec les techniques de construction en terre crue ont pu rapidement développer leur propre méthode de travail.

On a mis en valeur les professionnels dont les connaissances se réfèrent à la construction ancienne. La valorisation de ce type de travail artisanal est fondamentale dans le processus de la permanence et de la transmission du savoir-faire, ainsi que pour encourager les professionnels détenteurs des savoirs ancestraux.

De telles actions contribuent énormément à la préservation et à l'entretien des villes historiques, témoins du passé colonial. En plus de valoriser et de sensibiliser les

constructeurs locaux, ceux-ci agiront en tant que diffuseurs du "savoir-faire" ancestral. Cela permettra le développement en autonomie de la main-d'œuvre locale, indépendant d'agents externes dans les travaux de restauration.

BIBLIOGRAPHIE

- HOUBEN, H. et GUILLAUD, H. (1989). *Traité de construction en terre*, Parenthèses, Marseille.
- IEPHA-MG (2002). *Dossiê de Tombamento do Centro Histórico de Santa Luzia – Perímetro de entorno*. Belo Horizonte: IEPHA-MG.
- KANAN, Maria Isabel. *Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal*. Brasília, DF : Iphan / Programa Monumenta, 2008. 172 p.: il.; 20cm. – (Cadernos Técnicos; 8).
- PRATES, F. et QUINTAO, D. *Curso de Capacitação em Arquitetura de Terra*. Santa Luzia/ MG. Outubro, 2009.
- VASCONCELLOS, Silvio de. *Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos*. 5a ed. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1979. 186p.

NOTICE BIOGRAPHIQUE DES AUTEURS

FREDERICO DE SÁ SENNA PRATES, Architecte Urbaniste, directeur fondateur de l'agence o3L arquitetura. Il est diplômé de l'École d'Architecture de l'Institut Izabela Hendrix, à Belo Horizonte, au Brésil. En 2008 il a obtenu le diplôme de spécialiste en Histoire de la Culture et de l'Art à l'Universidade Federal de Minas Gerais.

DANIEL MARTINS DA COSTA QUINTÃO, Architecte Urbaniste, directeur fondateur de l'agence o3L arquitetura. En 2003 il a achevé ses études à l'École d'Architecture de l'Institut Izabela Hendrix. En 2008 il a conclu la formation DSA – Terre, offerte par le laboratoire CRAterre et l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, en France.



Utilising Indigenous Knowledge in a Time of Climate Change

Lesley FREEDMAN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

ARTICLE SUMMARY

The Whole Earth Building Foundation was established to create built examples of urban human eco-settlements that are largely self-reliant. The projects are to demonstrate affordable solutions to sustainable settlements that integrate indigenous knowledge with modern earth building technology. The projects will also incorporate the recycling and harvesting of energy and water.

These examples will engage the talents and energies of people to find their own solutions with community control and the stimulation of the local economy, while adapting highly functional organic architecture, materials and methods of the past.

We work collectively to identify the methodologies most suited to those who know the terrain, the 'experts' who are living on the ground. In these models we search for the materials that we need within the site and surrounds, applying Permaculture and Biodynamic principles and techniques and training and creating buildings and systems appropriate to an urban eco-settlement.

Regenerative living systems help to reduce the great consumption of electricity and water. We must ensure that we have structures in place that are very much better suited to climate extremes.

Climate science shows that severe climate will make life exceedingly uncomfortable if capitalism remains the social order, directing energy into profit at the expense of the environment that is needed for food production and all life. This economic system, by its intrinsic nature, is incapable of adopting the kinds of changes necessary to arrest the passage of greenhouse gases into the atmosphere. Ecosocialism has long been directing us towards working on creating caring communities that can develop alternatives to our current socially and ecologically destructive economic system to adapt simultaneously while acting to mitigate climate change.

INTRODUCTION

The most potent weapon in the hands of the oppressor is the mind of the oppressed, says Stephen Bantu Biko. My thesis is that reinvigorating and reinforcing indigenous familiar ways of building and food security nurtures the familiar old feelings of self reliance, self determination, agency, confidence, dignity and self esteem, independence and pride in and love of one's culture.

Through enhancing of the skills of communities, earthen architecture will be elevated to the status that it deserves. Because of its easy availability and ability to engage people in its creative use, earth contributes to alleviating the deficiency in housing. We believe that traditional architecture is the basis on which to develop a new local energy efficient architecture that addresses contemporary needs and expectations and is aesthetically, culturally and socially enriching.

The Whole Earth Building Foundation is an attempted solution to the challenge that has arisen through years of colonisation.

1. INDIGENEITY

Post-industrial architectural history reflects the architecture of power. This value system, which is based on high technology, sophisticated energy intensive construction techniques, which are the chief cause of resource depletion, has influenced the design standards and ideals of today's architects and builders and our ideas of what appropriate living environments ought to be like.

We must begin shifting perceptions to understanding that this value system belongs to another era. The emphasis must be on changing the judgement that exists in society on the value of earth building and living off the earth.

We want to focus on earth building in South Africa from the view of its cultural roots and context and argue for this knowledge being revived to build rich human settlements that express people's identities. Callinicos believes that "using indigenous knowledge helps us to define our cultural identity, affirm our diverse cultures and promote new and previously neglected research into our rich oral traditions and building technologies."

Travelling regularly in Mvezo, Qunu and Mqhekezweni in the Eastern Cape while writing the Heritage Management Plan for the sites in which Nelson Rolihlahla Mandela had grown up, the sustainable ecological self reliant way of life that I experienced through the landscape, architecture, archaeology and oral and written history convinced me of its validity. This is a lifestyle that is still practised by a third of the world population and by rural South Africans. (Fig.1).



Fig. 1. Subsistence farming in Pondoland, Eastern Cape

The resurgence of research into indigenous building systems is increasing respect and techniques are being revived and studied everywhere as evidenced in papers delivered at conferences and being published, globally. Builders and architects are turning to indigenous vernacular cultures for inspiration and technology for greener buildings.

Indigenous building technology evolved through making optimum use of natural energy, cycles of nature and local materials. The Foundation will aim for the same standard in its human settlement programmes, by building with sophisticated low energy technologies.

Knowledge of indigenous skills was lost through colonialism. It is still being lost; now through urbanisation. Callinicos writes that 'The coming of gold brought the industrial revolution to South Africa. In a short space of time South Africa was transformed from a land economy – in which people lived and worked on the land – to an industrial, capitalist society.' As long as there was enough land, black subsistence farmers could survive. Cecil John Rhodes' Glen Grey Act of 1894 broke up traditional, subsistence life. It was

known that black farmers would not go to the mines as long as they had land. Soon after that the 1913 Land Act allowed just a tenth of the land to be cultivated by the vast majority of the population.

These oldest building methods known to humankind need to be rediscovered and recovered by this rural population, who are now, in increasing numbers, slowly becoming our urban, landless poor.

2. THE WHOLE EARTH BUILDING FOUNDATION



Fig. 2. 1980s Poster

The Whole Earth Building Foundation is an advocacy and training programme designed to demonstrate that we can improve the quality of life of those needing affordable housing, schools, crèches, libraries and social spaces and food security by placing agency in the hands of the community and promoting growth within the local green economy. It was founded in 2012 as a Non-Profit Organisation (NPO).

The interest of the Foundation is in capacity building and changing the nature of human settlements. Studying at CRAterre and travelling in Mali were turning points which led to the understanding of how this can be fulfilled.

Housing is one of our foremost human rights and one of the prime elements to restore self reliance and dignity. Our foundation has been created with the objective of providing indigenous, easy to learn, flexible, labour intensive, ecologically sound vocational training, livelihood and entrepreneurial skills that harmonise and pull together sustainable natural building with food security through the people who occupy them.

LIFE CYCLE EXPENDITURE

An important aspect of our collective work is setting out the economic case for natural building based on local and international experience. We must dispel the myth that natural building is more expensive. A major cultural shift is required for us to focus on the life cycle costs of a building rather than exclusively concentrating on the initial capital outlay and speed of output. We must build capacity for developers, banks and governments to understand this cycle.

EARTH BUILDING CODES OF PRACTICE IN SOUTH AFRICA

One of the biggest challenges facing natural earth building in South Africa is the lack of recognised codes of practice.

Since loss of knowledge of technically sound building practices occurred through earth building not being allowed by the authorities in urban areas, poorly built earthen homes and schools has led to earth building being considered inferior. Its acknowledgment as a sophisticated energy efficient technology is needed urgently.

Due to our lack of codes, the National Home Builders Regulatory Council (NHBR) does not recognize any non-standard ways of building and will not allow for the registration of a new home built with natural building materials. Therefore banks, which require all new homes to be registered with the NHBR, will not provide finance.

In 2013, after prolonged lobbying by the author, Rowland Keable and others, eight out of

the ten Southern African Development Council (SADC) members voted to adopt Zimbabwe's Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures, SADCSTAN/TC1 SC5-001 for their own countries.

The South African Bureau of Standards (SABS) was formally requested by one hundred and sixty signatories to vote in favour of accepting the standard. However Tthe SABS voted against accepting the code and has declined to publish it.

The South African Bureau of Standards (SABS) was formally requested by one hundred and sixty signatories to vote in favour of accepting the standard. The SABS voted against accepting the code and has declined to publish it.

The Foundation is establishing the *Natural Building Alliance* (NBA) of people who believe that earth bears the potential to assist in the transition to a low carbon economy with more affordable and sustainable building innovation. The NBA is fundraising for the employment of dedicated writers of codes to ensure the incorporation of National Codes of Practice for Earth Structures into South Africa's building codes.

3. DEMONSTRATION PROJECTS

3.1. Klein Begin Sustainable Settlement Project (figs. 3 and 4)

Grabouw is a small farming town 80km out of Cape Town. In Grabouw lives a community called Klein Begin (*Small Beginning* in Afrikaans). The Klein Begin Trust land was given to the Klein Begin community by the owners of the timber-housing factory, by whom members of the community were employed over many years until it closed in 2006. The idea for the Klein Begin Sustainable Settlement Project began with discussions in 2011 about a dwelling to house extended family members, with energy and water management methods in a training environment. Later it was decided to begin with a library and kitchen as a social space and food garden, involving the whole community in the training. Many people who are unemployed have experience in building and some have seasonal farm work.

We are currently fundraising for the Klein Begin Sustainable Settlement Project, which will serve to advocate for this model with other communities needing sustainability.



Fig. 3. Klein Begin Site



Fig. 4. Proposed Scale

3.2. Khayelitsha Social Centre

Khayelitsha (*New Home* in isiXhosa) is an *apartheid* unconsciously planned township with a need for social cohesion in the form of facilities and green spaces for community gathering. The needs that were identified in community meetings were for a library, a bookshop, local food cafés, food gardens and lodging for travellers and access to subsidised music and media courses, recording and art studios.

Because it is located on the sandy soils of the Cape Flats near False Bay in Cape Town, we have designed the Khayelitsha Social Centre for training in sandbag walling, plastering with earth and energy and water saving methodologies. (Fig.5).



Fig. 5



Fig.6. Site

We are seeking 500 to 1500 square metres of land, either to be donated, or for the project to purchase from the City of Cape Town. This land should ideally be situated inside or adjacent to the Site C Taxi Rank and the Nolungile Train Station and the future Integrated Rapid Transit (IRT) bus stop, where there is life on the streets. (Fig. 6).

3.3. Mamre Earth Brick Information Centre

This is a perfect example of the use of an indigenous building method and having Masters train in the process.

Mamre is located 60km north of Cape Town in the Sandveld. In the 1700s it was one of the earliest settlements in South Africa, and was established as a model Moravian Mission Town.

The Mamre Revitalisation Project was an initiative of the City of Cape Town to promote the conservation and restoration of Mamre's heritage resources, using living heritage resources, such as Herbert Arendse and Mr Barrie to transfer historical building skills, while constructing a centre.

Andy Horn of Eco Design Architects, a member of the Whole Earth Building Foundation, was appointed to run community consultation and design workshops (Charettes), (Fig. 7), to determine the wants and needs for a small project and to design the natural building process. (Fig. 8).

All wood was harvested locally according to Moonphase Harvesting Principles. (Fig. 9). The thatch was harvested by Mamre's last remaining skilled Thatch Cutter, 76 year old Mr

Barrie, who trained a local team in the craft of thatch cutting. Herbert Arendse introduced a recipe for an extremely water resistant lime plaster using cow dung, sand and clay water, which is now used extensively.



Fig. 7. Public participation



Fig. 8. Mamre Information Centre



Fig.9. Local materials

4. GREEN ECONOMY MODELLING AWARD

The Foundation won the *Green Economy Modelling* tribute from the South African newspaper, the Mail and Guardian's annual *Greening the Future Awards*, which honour Environmental Best Practice in South Africa. This award recognises organisations with innovative strategies that promote economic growth based on low carbon development and natural resource efficiency. These are internal and external models that demonstrate finest practice in the green economy.

CONCLUSION

Urbanisation is happening everywhere. In South Africa the change from *apartheid* to democracy created a massive influx of people from the rural areas and from southern Africa to the economic centres in our cities, as is happening worldwide and is one of the main reasons for our being here today.

With emerging climate justice movements and clear sustainable development goals, housing nongovernmental organisations (NGOs) are focused on empowering people, eradicating poverty and protecting human dignity with shared prosperity and decent jobs,

as stated in the Habitat III National Report of 2015. The world has a stand-alone goal for sustainable human settlements.

We need to build capacity for developers, banks and governments to mainstream resource-efficient settlements. South Africa's Institute of Race Relations says that our housing failure could be solved very quickly if people who are struggling to afford shelter were trained to build their own settlements.

Earth building has an important role to play in our transition to a low carbon based economy.

The Whole Earth Building Foundation believes that placing at the highest premium the capacity and ability of people, and attaching value to self-reliance and independence, as Biko advocated and carried out in his projects, will change the face of urban settlement.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- Anger, R, Fontain, L, Joffroy, T, and Ruiz, É. (2013). *Earth Construction, an Additional Way to House the Planet*.
- Biko, S. B. (1978). *I Write What I Like: Selected Writings*. Ed. Aelred Stubbs. Bowerdean Press. London.
- Birkeland, J. (2002). *Design for Sustainability: A Sourcebook of Integrated, Eco-logical Solutions*. Earthscan.
- Callinicos, L. (1981. Reprinted 2015). *Gold and Workers: A People's History of South Africa, 1886 – 1924*. Khanya Publishing, Johannesburg.
- Fathi, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture*. University of Chicago Press, Chicago.
- Freedman Townsend, L. (2003). *Integration of Traditional Architecture into the Housing Process*. First National Workshop of the Ministry of Housing: *The pursuit of excellence in the built environment of human settlements: dignifying places and spaces through art and design*.
- (2005). *Heritage Management Plans for Sites Associated with Nelson Rolihlahla Mandela in Mvezo and Qunu, Eastern Cape*
- (2008). Poster for Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage. Bamako, Mali.
- (2009). *Using Indigenous Earthen Architectural Knowledge to Build Sustainable Natural Living Environments*. Mediterra Conference on Earth Architecture. Sardegna, Italy
- Foster, JB, Clark, B, and York, R. (2010). *The Ecological Rift: Capitalism's War on the Earth*. Monthly Review Press, NYU Press.
- HABITAT III NATIONAL REPORT (ISBN 978-0-620-63626-1). (2015). *South Africa's Report to the Third United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development*. Institute of Race Relations. (October 2015). SAFM Radio Interview.
- Ismail, S. (2015). *The Victoria Mxenge Housing Project: Women building communities through social activism and informal learning*. UCT Press, Cape Town.
- Kovel, J and Löwy, M. (2001). Unpublished Ecosocialist Manifesto. Vincennes, France
- Shiva, Vandana. (2005). *Earth Democracy: Justice, Sustainability and Peace*. Zed Books. South End Press. London
- Townsend, L and S. (1977). *Bokaap: Faces and Façades*. Howard Timmins. Cape Town.
- Whole Earth Building Foundation Website: <http://www.wholeearthbuildingfoundation.co.za>

BIOGRAPHICAL NOTE

Lesley Freedman is the Founder and Executive Director of the Whole Earth Building Foundation. She graduated as an architect at the University of Cape Town. She published the book *Bokaap – Faces and Façades*, describing the restoration process that she had directed in an indigenous earth built area. She worked in regulation of the architectural heritage landscape for twenty-two years, the last ten including earthen heritage management, before establishing her Non-Profit Organisation.



Earth: A Cultural Landscape Project in Scotland

Tom MORTON

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

SUMMARY

The mudwall heritage in the Carse of Gowrie region of Scotland is threatened by poor understanding and recognition, low cultural valuing, a small skills capacity, little guidance to building owners and no contemporary earth building. A series of coordinated intervention tackled these issues at a regional community scale through a 4-year Landscape Partnership.

Activities included building repairs, skills training, documentation, oral heritage, school projects, advice to home owners, a landscape art project, a week-long international festival and a new building.

The key achievement was raising the cultural value of earth building in the minds of the local community – when all the individual actions fade, this is what will sustain the area's earth buildings in the long term. This success in enhancing the public perception of earthen heritage was achieved by delivering a diverse range of interventions at a cultural landscape scale that engaged with local people over an extended period.

INTRODUCTION

The Carse of Gowrie is an area of low-lying, flat ground on the north side of the Tay River between the cities of Perth and Dundee, approximately 200km². In the 18th and 19th centuries C.E., agricultural improvements stimulated construction at a time before railways gave easy access to industrial building materials and vernacular traditions still flourished.

During this period the only local material that was abundantly available was clay earth. Clay was used in diverse ways; as plasters and floors, as wattle and daub walling, and extensively as clay mortar to stone masonry, but the main technique was *mudwall*, a dense mix of clay and straw, known elsewhere as cob.

This tradition was described in the 1790's: *'As there is no stone in the neighborhood, they [the houses] are mostly built of clay, and huddled together, without much order or regularity. Excepting gentlemen's seats, all buildings in the Parish are of that substance, which ... is reckoned the warmest and most durable of any; and there are some fabrics o it still in tolerable repair, the date of which cannot be ascertained. In forming such edifices, every man is his own mason, raising them by times, and putting on one layer as the other is condensed; and to this cause it is certainly owing that there are so few professional masons in the parish.'*ⁱ

Later buildings were faced with fired brick or lime render to protect against the weather and enhance their appearance, and during the early 20th century earth building ceased. By the early 21st century, there was only one old man left alive who remembered building with clay, there were scant formal records, no local earth buildings skills, no knowledge of appropriate maintenance methods. While some people knew they lived in clay buildings, it was seen as a problem - for maintenance, mortgages and insurance. The low cultural value of traditional clay buildings was at an all-time low.

1. THE RAPID SURVEY

A preliminary survey used GIS digital mapping techniques to correlate written records, interviews with local people, historic maps from 1850 and 1890, and place-name analysis with digital maps of subsoil geology (Fig. 1). This identified the likely locations for clay buildings which were then targeted for field surveys.

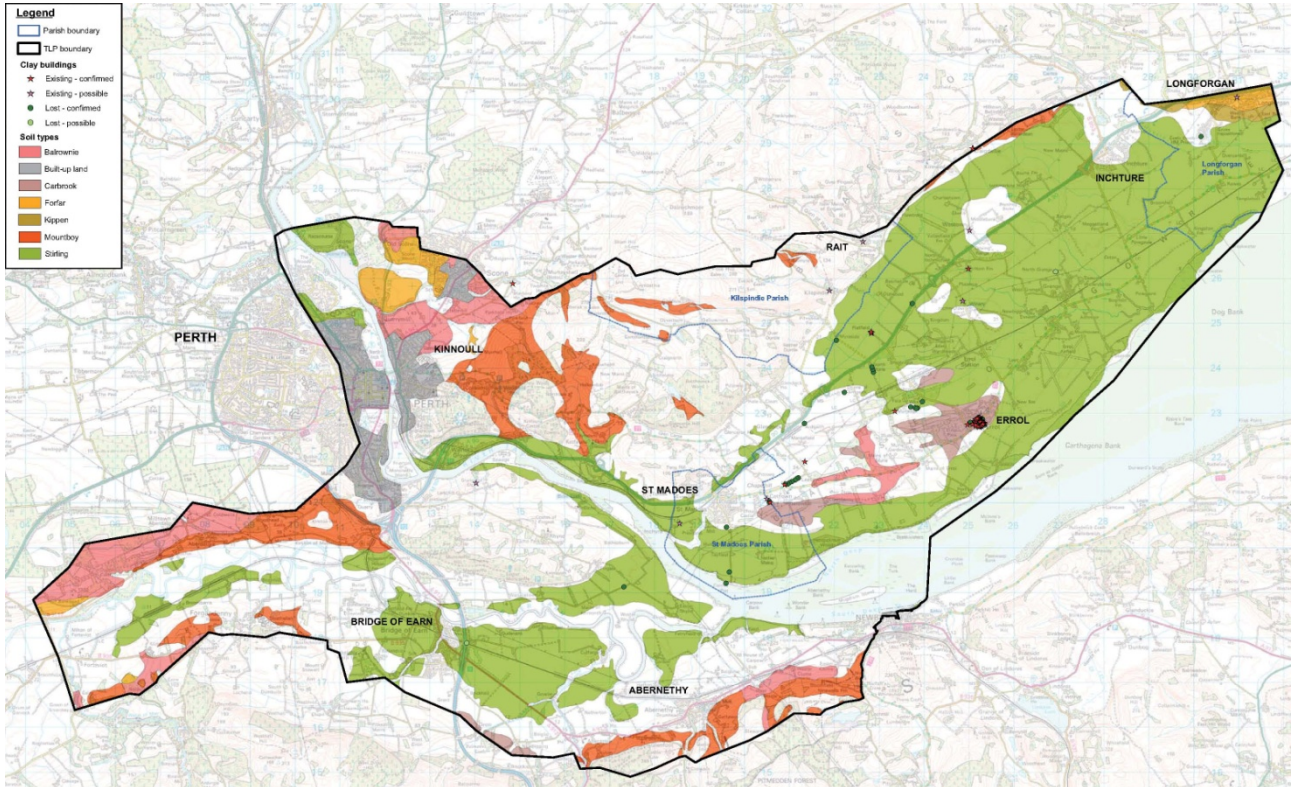


Fig. 1

Six types of clay-rich subsoil with particle size grading suitable for building were identified, comprising 44% of the TLP area. This methodology quickly produced significant new information on the key characteristics of the area's clay heritage and priorities for the emerging strategy.

Before the study only 4 clay buildings were recorded, though others were thought to exist. During the study, 40 surviving mudwall properties and 65 lost buildings were identified, dating from before 1745 to 1903 (Fig. 2).



Fig. 2

This heritage is significant because of its rarity, quality and the size and diversity of the surviving examples. It is a distinct local tradition that expresses the bond between the people of the area and their natural resources through the buildings that their ancestors built and which they inhabit. But it is also vulnerable and urgent intervention was needed to safeguard it for the future.

2. TOWARDS A CULTURAL LANDSCAPE STRATEGY

The Rapid Survey gave the team an awareness of the complexity and vulnerability of this cultural landscape. It retained a distinct identity, with tangible and intangible heritage elements, but was being actively depleted and there was no activity to sustain it. It was clear that there were multiple, inter-related threats and an integrated strategy addressed through two strategic themes:

1. Conserving and restoring what survives:
 - Increasing knowledge of surviving buildings.
 - Reducing risk of loss of buildings.
 - Improving maintenance and repairs.
 - Improving guidance.
 - Documenting local knowledge.
 - Fostering knowledge transfer.
2. Fostering a Living Tradition:
 - Increasing cultural and financial value attached to mudwall buildings.
 - Spreading skills locally.
 - Improving intellectual and local access.
 - Promoting mudwall heritage to visitors and outside the area.

17 specific individual actions were proposed, most of which were realised over the following 3 years.

3. IMPROVING THE RECORD

Existing records of the mudwall heritage were partial, unsystematic and difficult to access. There was no electronic or photographic record.

This is a problem for 4 reasons:

1. Extent.

The extent of the tradition is one of its principal features. In the Rapid Survey, 33 inhabited clay buildings were recorded that were not previously known and the authors believed a significant number of further sites could be identified through further investigation. During the survey, it was readily apparent that there was local knowledge and photographic records held by local people dating back over 100 years.

2. Representativeness.

There were measured and photographic records of only two sites, which are typical in their construction, but unusual in their typology. There is no drawn or photographic record of the main concentration of buildings in Errol.

3. Quality.

There was no drawn or photographic record of the best quality and largest single building, the listed Horn Farmhouse. There was no record of oral history. The relatively recent demise of the tradition, and recent loss of buildings, suggested that a record of oral history could prove effective.

4. Accessibility.

The existing records were inaccessible, especially to local people within the TLP area. Better access would enhance understanding, appreciation and the ability of local people to sustain their heritage.

Further identification and mapping of sites by local volunteers happened to a small extent, but activities that focused on people proved more popular. The participation of schoolchildren in the oral history project was particularly effective as a learning outcome and in engaging elderly relatives in a cross-generational exchange. In fact there were several school projects where engagement with children through curriculum subjects (history, geography, art) proved a very effective way of engaging parents and extended families.

The project aims to establish a local archive, located at Errol Library or Community Centre, which will be an ongoing resource to the local community and for future school projects.

4. SAFEGUARDING THE BUILDINGS

The surviving buildings divided into two distinct types – a small number of prominent isolated rural buildings that had become redundant for their original use and were actively decaying, despite being protected by Listed status, and a larger number of everyday homes in more urban areas, which were maintained through active use, but lacked protection (Fig. 3).

With limited funding, a decision had to be made about which buildings to support and, of course, the team attempted to help both types.



Fig. 3

4.1 Sustaining Buildings in Use

Of the 40 standing buildings identified in the Rapid Survey, 37 are currently in use, predominantly as the well-loved homes of owner-occupiers. The characteristic strengths of these mudwall homes are that they are cared for – kept warm and dry, with defects

attended to when they develop. The owners generally know about their history and recognise the distinctiveness of their construction. These buildings represent the living tradition, safeguarded often by people with both a financial and emotional commitment to the buildings.

There are two characteristic vulnerabilities of these mudwall homes – inappropriate alterations and misconceptions among financial bodies that make it difficult to obtain insurance and mortgages.

None of the common homes are listed, and the cost of appropriate traditional repairs and lack of guidance were significant barriers to good maintenance. Cement renders have often been applied as a modern external finish, promoting decay and concealing defects. It was clear that these had been applied with the intention of protecting the mudwall on the basis of advice from local builders.

The project team offered individual owners advice on the condition of their buildings and how to maintain them, which raised awareness and created a desire among owners to remove cement renders and replace them with lime. While the TLP provided some grant assistance for repairs, this was insufficient to make new lime renders affordable to most owners. So while awareness has been raised, promoting appropriate repairs, longer term financial support is needed to deal with the backlog of bad practice.

A less prevalent problem, but one that was reported by several owners and some surveyors, is difficulty in obtaining mortgages and insurance because of a lack of understanding about mudwall construction among commercial providers.

One example from a recent Home Report by a firm of surveyors stated *'the main walls are of clay construction. A large number of lending institutions are not prepared to grant mortgage facilities on this type of property and some will only grant mortgage facilities with a satisfactory Engineer's Report. Large areas of cracked and bossed roughcast were noted.'* Their valuation *'figure reflects the fact that the property is of non traditional construction and some lending institutions are not prepared to grant mortgage facilities on this type of property.'*ⁱⁱⁱ

Another homeowner reported that he could not obtain insurance for a property when it was described as being of clay construction, but could when the agent described it as wattle and daub.

Most have ultimately resolved the problems, and there was little ability to improve the situation through the project. However, subsequently EBUKI is looking to address this issue at a national level with guidance and dialogue with financial institutions.

4.2 Repairing Key Buildings

The Rapid Survey identified four sites at clear risk. It is significant that most are:

- redundant buildings that have been disused for decades
- commercial rather than residential property
- cement rendered
- 'protected' by Listed status.

These buildings are significant because their earth construction is not concealed by modern finishes and domestic use. This is why they have been recorded and protected.

However this has not protected them from the natural processes of decay that happen under a regime of neglect and disuse.

While these buildings demonstrate a resilience that is perhaps surprising, there is a risk of sudden loss, through two key mechanisms:

- Defective roofs direct rainwater onto wallheads, where moisture levels rise behind impermeable cement render, leading to collapse of the clay wall when it reaches a plastic state (Fig. 4).
- Decay of load-bearing timber elements causing loss of support or unusual thrust on a material that has inherently low tensile strength.



Fig. 4

Both of these mechanisms are driven by lack of basic maintenance and cause defects that are accelerated and concealed by cement renders, potentially causing sudden and unexpected collapse. There were three key buildings, each of which presented different opportunities for intervention.

The Horn Farmhouse is a large 2-storey building, part of a large and redundant farm complex, which had suffered collapse of a section of wall. The TLP provided a small grant to enable the repair of the building, safeguarding it from immediate danger (Fig. 5).

Redundancy is a key threat to earth heritage and, though it can be very difficult, establishing a viable new use is the only way of sustaining heritage in the long term. However, such plans often require professional expertise not normally affordable to building owners.

The owner of the Horn has previously attempted to redevelop the site, but was refused permission as the proposals were inappropriate. The TPL funded a feasibility study of potential future uses of the farm which identified a viable redevelopment use as a rural visitor attraction for families, safeguarding and promoting the historic site, while creating new economic activity.



Fig. 5

The Cottown Schoolhouse has been repeatedly damaged by winter flooding, caused by the effect of modern developments on local surface drainage. Repairs to make good the damage were undertaken in 2015 and the building was made accessible to the public, but it flooded again the next winter. There are plans to improve the drainage, which would allow the building to be brought back into use, but such major works were outside the financial scope of the project.

The Flatfield Barn was in an unstable and dangerous condition, with sections of wall in danger of collapse, but had a very engaged and supportive owner. The TLP provided a small grant to enable a substantial programme of repairs, and this was enhanced by using it as a place for skills training, which significantly increased the amount of repair that were achieved.

5. BUILDING SKILLS & CAPACITY

Alongside the physical heritage of surviving buildings, stand the skills to build enduring, elegant and comfortable structures from earth and knowledge needed to sustain them for the future. These are the intangible aspects of the areas mudwall heritage.

It is clear from the historic description of Errol quoted earlier, that traditionally the skill of building mudwall was widely held in this very specific community where mudwall was the main form of construction. Over several centuries, a high level of skill in sourcing materials and constructing buildings developed in proximity to a local clay mineral resource.

These practical skills and knowledge died out across Scotland during the 20th century C.E., following the end of traditional mudwall construction. Since the 1980's a series of research, restoration and new build projects, supported by Historic Scotland and the National Trust for Scotland, have led to the revival of these practical skills, providing the ability to repair and conserve the surviving heritage, as well as to build new buildings in traditional methods.

The technical quality of these skills is high, supported by technical materials research and a wider conservation capacity, and several phases of repairs at Cottown Schoolhouse have provided a key forum for technical development. The skills quality is recognised in

the Award of National Craftsperson of the year in 2009 to the contractors for the restoration of the mudwall Schoolhouse at Logie in Angus.

However, the demand for these skills has been small, with around one mudwall project in Scotland each year and capacity of this skills base is in one specialist company. This is not a sustainable resource.

The vast majority of repairs and alterations to the surviving mudwall buildings have been undertaken by companies without specialist training in mudwall materials. While the standard of the works has generally been good, some of the materials and techniques used in these works, notably the application of cement renders, have been inappropriate and detrimental.

The TLP provided the opportunity for targeted training to increase the national skills base, while improving the quality of local repairs and maintenance.

Historic Scotland provided funding for skills training and the Flatfield, Horn and Cottown repairs became the basis for the training for two new experienced craftspeople in earth building repair skills through on-site mentoring by an experienced mudmason. This is a key outcome in expanding the skills base in earth building repair and making it more resilient in the long-term. The two trainers were chosen because they are employed by national organisations that will safeguard and disseminate these skills, despite low commercial demand.

The importance of building owners as guardians of individual buildings was recognised by the team in working to develop their understanding of, and ability to undertake, routine maintenance. The owners of Flatfield already undertook minor repairs themselves, and the repairs offered a good opportunity to target training to increase their building skills.

6. FOSTERING CULTURAL VALUE

Understanding and appreciation of the areas distinctive clay building heritage was poor. There was a good technical understanding among a tiny number of specialist conservation professionals, but this was not well informed by the knowledge of local people and it was disseminated through professional forums that are inaccessible to local stakeholders.

Equally, there was a good appreciation among some local people who lived in clay buildings, but this was not well informed by a good technical understanding and it was an inherited appreciation within a family, and thus vulnerable to loss.

There was no local organisation to champion the tradition, connecting owners of mudwall buildings, and no links to relevant national organisations, such as EBUKI, or other vernacular communities. There was no promotion of the mudwall tradition as part of the area's distinctive character, either culturally or commercially.

A series of interventions were targeted.

6.1 Public Exhibitions

A public exhibition was created which travelled around the area to celebrate mudwall heritage in its national and international context, while highlighting local projects. This allowed local people to see their homes in an international context. There was also a separate exhibition at the regional Perth Museum, outside the area, to promote the heritage to a wider audience through historic artefacts and images.

6.2 School Projects

The TLP's Education Officer and mudmason Becky Little worked with the local primary school children, 5 to 12 years old, over several years on a local history project about their distinctive built heritage. The children made an exhibition of model earth houses, a film about the local mudwall traditions and wrote a song (Fig. 6).

Delivering this teaching about local earth building as part of the schools regular history, geography, science, art and music curriculum also proved an effective way of reaching the next generation and indirectly engaging with parents and grandpare



Fig. 6

6.3 Clayfest!

A key activity was Clayfest! - a week-long festival of earth building in May 2015. This included 60 individual events, ranging from a conference and seminars, to practical workshops in 8 different earth building techniques which provided 208 people/days of training (Fig. 7).

This event was specifically organised to be an international event, attracting speakers and participants from more than 18 countries, but vested in the local community. This achieved the twin aims of exposing the local heritage to an international audience, and showing the local people that their buildings were valued by people from far away, as part of an international community of vernacular cultures.



Fig. 7

Clayfest! made a really significant improvement in cultural valuing, with local people actively engaged. At the end of the week, there was an active campaign on the local community facebook page not to demolish the temporary walls that the workshops had built.

Another important aspect of Clayfest was that it appealed to a wide audience – academics and craftspeople, but also people not normally included. A group of people with autism came to one workshop and profoundly engaged with the tactile quality of creating forms in clay. There was also outreach to older people, mothers and pre-school children, made easy by holding the event at the Village Hall, which the community continued to use for their regular activities throughout the week.

There was a land art project, which interpreted the historic landscape around Errol through a series of installations made collaboratively by members of the community, a poet, an archaeologist and an installation artist (Fig. 8). This is an ongoing process documenting how the installations change through time in digital images and sound recordings on a website.

See <http://www.theredfield.co.uk/un-melting>



Fig. 8

Diverse means were used to disseminate the activities:

- 400,000 people viewed a television news article on Clayfest
- <https://www.youtube.com/watch?v=WIGBKNBFaz0>
- Film recorded for broadcast by UK permaculture organisation,
- https://www.youtube.com/watch?v=FhX8BTwkiD0&feature=player_embedded#t=0
- Film recorded for broadcast by a Polish environmental organisation.
- Estimated 134,000 people saw 3 articles in the local newspaper Dundee Courier.
- 7,400 people saw EBUK tweets on Clayfest.
- 15,297 people saw tweets by Historic Scotland on Clayfest.
- 55,000 people viewed EBUK's Facebook posts on Clayfest and there were 1,245 likes
- 4,338 people viewed Historic Scotland's Facebook posts on Clayfest.
- 5,394 visits to the EBUK webpages on Clayfest.
- 3,242 viewed Historic Scotland's newsletters on Clayfest.

As an intense week of focused activity, Clayfest gave a boost to publicity and promotion for all the activities of the 4-year Landscape Project. It built off the initial year's community engagement and provided a legacy of awareness that helped deliver the following two years work.

6.4 Exemplar New Building

The success of Clayfest created an enthusiasm among local people for a new permanent mudwall building. A small new building is being constructed in 2016 in the public park as a contemporary demonstration of traditional technique – the first new mudwall building in the area for a hundred years (Fig. 9).



Fig. 9

The shelter will have a useful community purpose and is located in a prominent public place in Errol. It will be built by Becky Little, the two trainees and community volunteers. This will be a demonstration that mudwall is a living tradition which can create modern buildings, as well as something fine from the past (Fig. 10).



Fig. 10

CONCLUSION

The Tay Landscape Partnership proved a successful intervention to arrest the decline of a regional earth heritage.

The Rapid Survey was a very effective tool in identifying a well-targeted series of actions, which combined to deliver a comprehensive campaign of activity sustained over four years. The GIS mapping technique is now being developed as a national system by EBUKI to support other communities and the data collected will be used to lobby the insurance and mortgage industry.

The projects aims were very broad ranging, and activities that relied on a large financial or human resource could only be delivered to a limited extent because of the financial constraints of the project. However, the activities that relied on engagement with the local community were delivered to a large extent, due to the popular support that the project achieved.

The sequence of engagement, its diversity and long time period were key to this success. People would not have engaged with a simple short project. Having numerous small projects over several years allowed relationships to develop between the external earth experts and local people that were the basis for a deeper level of engagement.

The success in delivering short term improvements to individual buildings is tempered by the recognition of the scale of repairs still needed. But the project has established that viable uses can be found for redundant earth buildings and that building owners will do the right thing, if they get good guidance, because they care for and are proud of their earth heritage. The creation of the first new mudwall building in a century is an important symbol of community resilience in arresting the decline of a vanishing vernacular culture and giving it hope for a sustainable future.

Recommendations to Others Considering Cultural Landscape Projects:

1. Take several years to deliver the project, so that there is time to develop relationships with people on the ground and to create momentum between individual initiatives.

2. Work over a large area, so that success is not predicated on one building or individual and so those involved can appreciate the scale of the heritage that they held in common.
3. Connect with as many different people in as many different ways as possible. Be imaginative, try anything, but don't predicate success on any one activity.
4. Use outside experts, but vest the project in the local community. Only local people can sustain a living culture in the long term. Our team was very clear that we were trying to conserve a living culture, not individual buildings as museum pieces. In this respect all the projects were really, at their heart, about the relationship of people with place, and only a cultural landscape project like this can address issues in this way.
5. Set the project in its local, national and international cultural context. By seeing the project in cultural landscape terms, develop a cultural approach to community intervention that is tailored to its unique character, but informed by the global debate over vernacular culture.

NOTES

ⁱ Statistical Account, 1791-99, Errol Parish.

ⁱⁱ confidential source, Home Report from Errol area, obtained with consent from home owner.

BIOGRAPHY

Tom Morton is Director of Arc Architects, based in Fife, Scotland and an Executive of Earth Building UK & Ireland. His works includes conservation and new build earth structures, the development of materials, skills, community and culture.



Le langage de la matière

Nuria ALVAREZ COLL, Miguel GARCIA CARABIAS, Anne LEMARQUIS, Laetitia FONTAINE, Romain ANGER

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé :

La terre, dans son expression matérielle la plus simple et la plus pure, recèle un potentiel émotionnel extrêmement puissant. L'émerveillement face à cette matière est à l'origine du collectif d'artistes Colectivo Terrón et de l'atelier pédagogique et scientifique de découverte de la matière terre « Grains de Bâtisseurs », qui ensuite a donné naissance à amàco. C'est cette émotion qui a amené aux fondateurs de ces deux entités à approfondir leur connaissance du comportement de cette matière granulaire et à rechercher ses possibilités expressives.

Conférences scientifiques expérimentales, ateliers créatifs expérimentaux, ateliers de découverte et spectacle sont comme objectif de transformer le regard du grand public sur cette matière pauvre, ordinaire, banale, oubliée et le plus souvent ignorée.

Il s'agit de rendre accessible la matière, de faire découvrir les multiples potentialités expressives de la terre par une approche et une pratique artistiques.

A travers un triple regard d'artiste, d'architecte et de scientifique, il s'agit de changer le rapport de l'homme à la matière pour transformer son rapport au monde.

Introduction :

La construction en terre est une tradition de plus de onze mille ans qui a vu naître l'acte de bâtir en dur, puis progressivement le hameau, le village et la ville. Cette substance, archétype de la matière solide qui nous entoure, sert à façonner l'homme dans la plupart des récits de la création, de différentes religions et cultures. Elle accompagne le développement de notre civilisation depuis les débuts jusqu'à ses développements les plus récents. A chaque époque, elle a fourni à l'humanité des solutions pour répondre aux contraintes spécifiques de son temps.

Dans le monde actuel, tous les produits subissent une longue chaîne de production et l'homme perd de plus en plus la relation avec la matière première. Il en est ainsi également dans le domaine de l'architecture. Comment retrouver une émotion en contemplant la matière dans sa forme la plus simple? Quel est le rôle du corps dans ce processus de changement de valeurs ?

Au moment où se dessinent les bases d'un renouveau de la construction en terre, la science développe des outils théoriques essentiels pour mieux comprendre ce matériau. Les comportements étranges du sable, de l'argile et de l'eau font partie de terrains d'investigation scientifiques particulièrement prometteurs à l'heure actuelle. La pensée artistique contemporaine porte également un nouveau regard sur cette matière si commune. Des nombreux artistes s'emparent aujourd'hui de cette matière pour son expressivité propre, sa plasticité, ses couleurs, ses textures, ses fissures, les traces ou les empreintes qu'elle fige dans le temps.

C'est dans ce contexte que le Colectivo Terron et amàco développent leurs recherches, en plaçant les matières naturelles les plus communes (le sable, l'eau, la terre, le bois, la paille, etc.) au cœur de leurs actions.

1 LA MATIERE, SOURCE D'INSPIRATION, DE CREATIVITE ET DE PARTAGE

1.1 La terre : l'inspiration

Quand nous sommes en train de nettoyer un seau, de préparer un mélange pour réaliser un enduit, de tamiser la terre, certains effets de la terre nous étonnent (Fig. 1 et 2).



Fig.1 : Marques de ruissellement dans un évier. Crédit : Colectivo Terrón

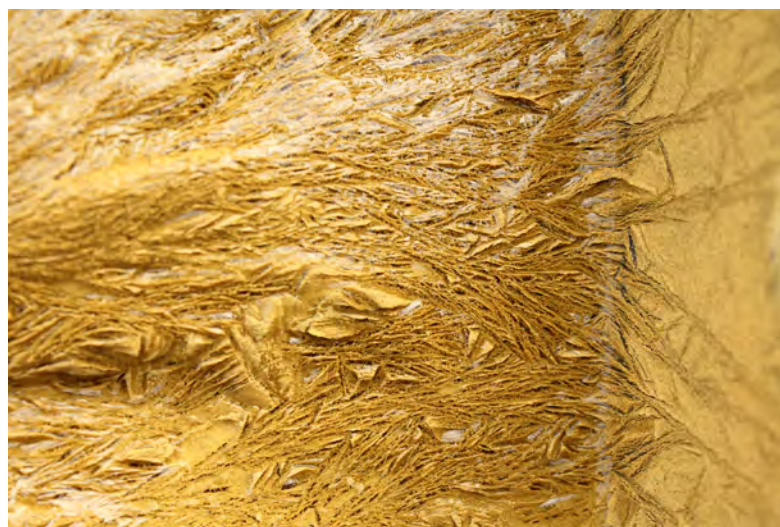


Fig.2 : Terres gelées. Crédit : ColectivoTerrón

Lorsque la matière est en mouvement, elle produit des formes diverses, des dessins que l'on retrouve dans nos seaux de terre tout autant qu'à l'échelle des paysages.

Le philosophe et théologien Bertrand Vergely considère cet émerveillement indispensable dans nos vies : « on peut être riche, si l'on ne sait pas s'émerveiller, on est pauvre. On passe à côté de l'essentiel, on manque la beauté du monde, la richesse des êtres humains, la profondeur de l'existence. »

C'est précisément cette magie, cet émerveillement que nous avons ressentis face au comportement de la matière, qui est notre inspiration et à l'origine de nos créations.

Notre travail est né d'une envie de montrer et de partager ce langage propre de la matière terre : sa plasticité, ses couleurs, ses textures, ses fissures, les traces ou les empreintes qu'elle fige dans le temps.

Après des années d'expériences autour de la manipulation de la matière devant des publics très variés, nous nous rendons compte que la matière provoque des phénomènes intérieurs qui nous transforment. Ces impacts émotionnels, qu'on pourrait aussi appeler des « chocs esthétiques », peuvent créer de l'attention pure, de la germination des idées ou bien de l'inspiration pour la création. D'un autre côté, ils développent la curiosité (le questionnement scientifique) et ils aident à intégrer les informations appréhendées par le corps.

Avec la mise en scène de cette matière brute, nous proposons au public une réflexion sur ce qui nous entoure. La simplicité de la matière nous questionne sur notre rapport au monde. Serait-elle un reflet de nous-mêmes ?

1.2 La matière mise en scène

Selon son poids, sa forme, ses différents états, sa couleur, sa sonorité, la matière a une expressivité propre. Le collectif d'artistes Colectivo Terrón a été créé en 2010 comme groupe de travail, d'expérimentations et de créations interdisciplinaires autour de la matière brute. Tierra Efímera est le premier spectacle du collectif et leur premier exercice de mise en scène de la matière. Dans ce spectacle, des images passagères se composent et se décomposent en créant une chorégraphie picturale éphémère sur un écran. Trois comédiens manipulent une seule et même matière, la terre, dans divers états de liquidité : projeté, étalé, caressé, effacé, tracé ou déployé. (Fig. 3 et Fig. 4).

Le travail de mise en scène de la matière s'est avéré une source constante de découvertes et de surprises. Chaque terre, selon sa granulométrie et le type d'argile qu'elle contient, s'exprime d'une façon particulière. Le langage d'une terre argileuse n'est pas le même que le langage d'une terre sableuse. De même, celui de la terre à l'état liquide ne s'exprime pas de la même manière que celui d'une terre à l'état sec. La matière a son mot à dire, parfois en contradiction avec ce que nous avons imaginé auparavant.



Fig.3: Spectacle *Tierra Efímera*. Crédit : Bernard Stadlbauer



Fig.4: Spectacle *Tierra Efímera* au Diapason à St. Marcellin. Crédit : Sylvain Faisan

1.3 Le partage de l'expérience créative

Une démarche qui accompagne le Colectivo Terrón depuis ses débuts est de proposer au public de se confronter à la matière afin qu'il puisse la manipuler. Après les spectacles, le public a envie de monter sur scène et de s'assurer que ce qu'il a observé en mouvement est bien « de la boue », tout simplement du sable ou de l'eau. Devenir acteur, toucher la matière permet ainsi l'évolution de ses questionnements. C'est naturellement, en réponse à ce besoin du grand public de manipuler la matière, que les actions parallèles aux spectacles (ateliers, formations, animations, etc.) se sont développées, en s'adaptant et en évoluant selon les différents contextes et publics.

En 2012, le Colectivo Terrón a été accueilli en résidence artistique pendant six mois pour développer le nouveau spectacle de la compagnie : « Le roi des sables » (Fig.5). Cette expérience a abouti à la mise en place d'ateliers sensoriels, d'ateliers d'expérimentation autour des empreintes (Fig.6), des coulures (Fig.7), du phénomène de digitation entre des plaques de plexiglas (Fig.8) et le développement d'un atelier plastique impliquant le corps entier sur de grands écrans transparents (Fig.9). Les participants étaient étonnés par les vastes possibilités expressives d'une seule et même matière.

Ces ateliers permettent une approche corporelle et un apprentissage par les cinq sens. Ils sont complémentaires des ateliers pédagogiques développés par amàco qui, à partir de la simplicité de la matière, stimulent l'innovation dans le domaine de la science et l'architecture.

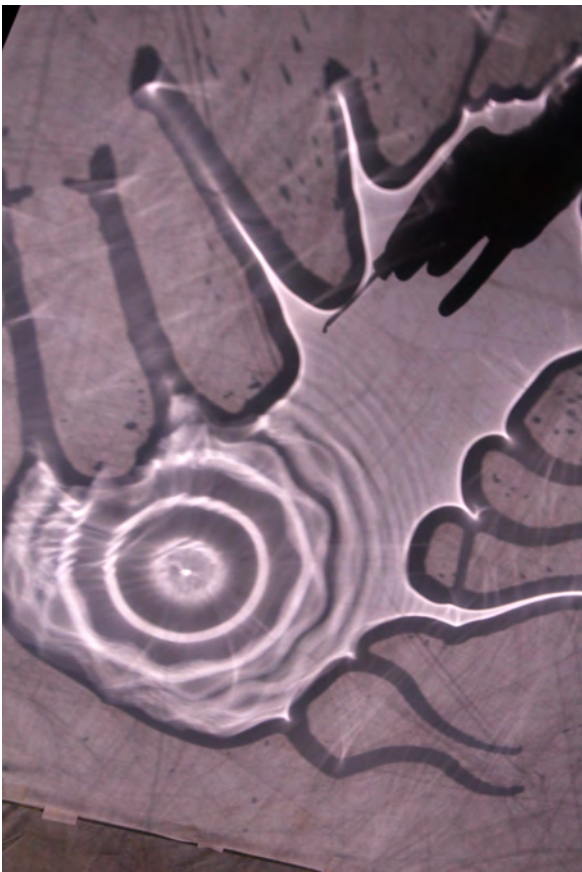


Fig.5: Spectacle « Le roi des sables ».Crédit : Colectivo Terrón



Fig.6 : Exploration du jeu des coulures avec la terre en état liquide. Crédit : Colectivo Terrón



Fig.7 : Table transparente pour permettre la manipulation de la terre en hauteur et regarder les effets par dessous. Crédit : Colectivo Terrón



Fig.8 : L'effet de digitation est du à la différence de viscosité de deux liquides. Crédit : amàco



Fig.9 : Implication du corps pendant les ateliers de peinture en terre. Crédit : Colectivo Terrón

2 LA MATIERE ET LE CORPS DANS L'ENSEIGNEMENT

2.1 Regards croisés autour de la matière terre

L'atelier matières à construire (amàco) est un centre de ressources pédagogiques qui vise

à rendre visible, de manière sensible et poétique, les comportements physico-chimiques des matières naturelles les plus communes, telles que le sable, l'eau, la terre, le bois, la paille, etc. amàco a comme objectif de faire connaître leurs applications dans la construction afin de favoriser l'émergence de pratiques éco-responsables. amàco rassemble dans un même lieu des physiciens, des ingénieurs, des architectes et des artistes. Magie, émotion et créativité sont les maîtres mots du projet.

Le Colectivo Terrón et amàco partagent une même démarche avec deux points de départ:

- L'émerveillement face au comportement de la matière. Nous pensons que cette émotion face à la contemplation de la matière, dans sa forme la plus simple, constitue l'origine du savoir scientifique. Selon Bernard Zubrowsky, « l'attraction esthétique peut être utilisée pour créer un impact émotionnel fort destiné à stimuler le questionnement scientifique. »

- Faire connaître la potentialité esthétique et expressive de l'essence de la matière. L'inconscient collectif des gens sur la terre et la construction en terre est rempli de stéréotypes négatifs. Pour les bousculer, le plus efficace est de perturber les conceptions. Rien n'est plus utile aujourd'hui que de transformer nos imaginaires : les vraies barrières ne sont pas techniques ou matérielles, elles sont mentales. Voilà l'enjeu : que le matériau terre regagne dans l'imaginaire collectif la place qu'il occupe dans la réalité.

2.2 Découverte sensorielle et compréhension corporelle de la terre

Un maçon connaît exactement la teneur en eau d'un enduit au toucher, ainsi que de la terre à pisé avant de la mettre en œuvre. Un des objectifs d'amàco est d'intégrer ces informations « non théoriques » pour développer les intelligences multiples des apprenants. Dans ce contexte, un exercice de découverte sensorielle de la matière terre a été développé. L'objectif de cet exercice est d'utiliser son corps comme instrument d'analyse d'une terre. Il s'agit de développer l'usage habile du corps et de ses ressentis, autrement dit, son intelligence kinesthésique. Sens prédominant, la vue fournit la majorité des informations sensorielles mais cache parfois le travail des autres sens. Des bandeaux sont distribués aux participants afin de cacher la vision et se concentrer sur les informations apportées par les autres sens (Fig.10). Avant de découvrir par la vue les différentes terres « explorées », les participants décrivent leurs ressentis. Ce moment d'échange apporte beaucoup d'informations sur le comportement de la matière et aide, en complément des tests de terrain, à la comprendre d'une façon intuitive.



Fig.10 : Découverte sensorielle de la matière terre. Crédit : amàco

3 ART, SCIENCE ET ARCHITECTURE VERS UN AUTRE RAPPORT AU MONDE

3.1 Matière et profondeur

Selon Einstein, « la plus belle chose que nous puissions éprouver, c'est le côté mystérieux de la vie. C'est le sentiment profond qui se trouve au berceau de l'art et de la science véritable ». Un matériau, dans son expression matérielle la plus simple et la plus pure, peut recéler un potentiel émotionnel extrêmement puissant, que Pierre Meunier, acteur de théâtre, décrit à merveille dans son spectacle sur le tas de sable : « Il y a dans le tas des forces au travail qui se passent de l'homme et de sa rage de vouloir tout régir. Et l'enfant, non encore homme, le sent. Il le sent, il jubile. Il jubile devant cette matière en vacance d'utilité. L'insouciance, la gravité éclaire son visage. Peu soucieux d'admirer, il éprouve. Il éprouve intensément l'attrait, l'attrait pour l'énigme, pour le cœur caché des choses. (...) On va le laisser là, tenter de ressaisir par le profond ce qui lui manque ». Éprouver un émerveillement face à la matière est une porte d'entrée essentielle vers la profondeur de l'être, particulièrement utile dans un monde gouverné par le bruit, l'hyperactivité, la profusion de formes et d'images artificielles. Gaston Bachelard distingue l'imagination formelle et l'imagination matérielle et selon lui « les images matérielles nous engagent dans une affectivité plus profonde, c'est pourquoi elles s'enracinent dans les couches les plus profondes de l'inconscient ». Outre des philosophes, des scientifiques et des artistes, le lien entre la matière et la profondeur est également décrit par de grandes figures de l'architecture contemporaine. Dans une lettre adressée au laboratoire CRAterre en 2009, Wang Shu écrit : « Dans la tradition (architecturale) chinoise, la philosophie ou la technique de construction importent peu : ce sont les matériaux qui siègent à la première place. Les matériaux naturels étaient utilisés de telle sorte que l'essence de la nature était atteinte (« touched » en anglais, dans le sens de « saisie », « touchée du doigt » ou « révélée »). Cette essence de la nature selon Wang Shu est sans doute ce que Peter Zumthor qualifie de « noyau dur de la beauté » : « Je me figure volontiers que la beauté a un noyau dur, et lorsque je pense à l'architecture, le rapport entre beauté et noyau dur revêt un aspect familier. Je crois [...] en substance que la beauté réside dans les choses à l'état naturel et sans apprêt, non investies de signes et de messages. Je me dis que l'architecture ne doit pas provoquer des émotions mais les laisser surgir. Et qu'il faut s'en tenir strictement à la chose, près de l'essence propre de la chose que je dois créer et être confiant dans l'aptitude de l'ouvrage bâti, s'il a été très exactement conçu pour un lieu et une fonction, à développer sa propre force, qui n'a besoin d'aucun adjuvant artistique. Le noyau dur de la beauté, c'est de la substance concentrée ».

3.2 Pour une architecture enracinée dans la matière

Cette dimension sensible de la matière dans l'espace construit apparaît clairement dans l'architecture vernaculaire, qui reflète le territoire comme un miroir. Construit avec les matériaux qui sont sous nos pieds et à portée de main, le bâti semble le prolongement de l'œuvre de la nature. Ce trait d'union entre la géologie d'un lieu et l'architecture est universelle. Aujourd'hui, les tenants de l'architecture contextuelle renouent avec cette tradition du passé. Chez Peter Zumthor ou Wang Shu, cette harmonie entre le paysage et le bâtiment est enracinée dans la matière et les matériaux (Pierre Soulages disait : « J'aime l'acte de peindre enraciné dans la matière »). La matière est la chair de l'architecture. Selon Zumthor : « La magie du réel est pour moi l'alchimie de la transformation des substances matérielles en sensations humaines... Par mon travail, je contribue à façonner la réalité, à donner à l'espace construit une atmosphère où nos sensations puissent s'enflammer. » La présence de la matière véhicule des émotions qui

transforme l'espace architectural en une expérience sensorielle et sensationnelle. A l'inverse d'une forme architecturale « préconçue » sur laquelle sont « plaqués » des matériaux après coup, la matière devient un point d'entrée essentiel de la pensée et de la conception architecturale. Pour Rudy Ricciotti : « La croyance dans la matière fait autorité sur la linguistique architecturale ». De cette poésie des matériaux en architecture doit découler un autre rapport de l'homme à la matière, qui annonce simultanément un autre rapport au monde.

3.3 Vers un autre rapport au monde

Si la matière est la chair de l'architecture, elle est aussi la chair du monde et la chair de l'être (notre chair). Restaurer un rapport émotionnel et corporel à la matière dépasse donc les enjeux de la construction durable et de l'architecture. Le but ultime de « Grains de Bâisseurs » (atelier pédagogique et scientifique de découverte de la matière terre, qui a donné naissance au livre « Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture ») est d'amener les individus à changer de regard sur la matière, sur la science et sur le monde. Plus précisément, de les amener à « voir un monde dans un grain de sable », comme le disait le poète William Blake. Se faisant, la terre qui est sous nos pieds, univers bien plus vaste que le sable, apparaît comme un infini à découvrir. De matière première sans valeur, elle se métamorphose en trésor inestimable. Aujourd'hui, des artistes ont la même intention. Par exemple, le peintre espagnol Antoni Tàpies disait : « pour les tenants du scientisme, de la technologie de l'abondance, de l'accumulation, de la précipitation asservissante, tout cela doit certainement être difficile à croire. Que dans un simple morceau d'argile, on puisse voir tout l'univers ». Cette philosophie se retrouve chez l'artiste japonais Koïchi Kurita : « Chaque poignée (de terre), c'est tenir dans sa main le cosmos. Dans une seule poignée, l'histoire de la planète et de la relation aux hommes. Si le sol est sale, c'est que la vie va de travers. Est-ce que nous-mêmes nous ne retournerons pas au sol ? ». Aujourd'hui, les matières premières qui ont le plus de valeur sont l'or, le pétrole, l'uranium ou les terres rares. « Voir un monde dans un grain de sable » revient au contraire à accorder plus de valeur au sable, à la terre, à l'eau, au bois ou aux fibres végétales. Autrement dit à toutes les matières déconsidérées qui nous entourent, sans lesquelles nous ne pourrions vivre. Détruire, polluer, salir ces ressources revient à priver les générations futures des moyens de répondre à leurs besoins. Il est possible de vivre sans pétrole ou sans uranium. On ne peut pas vivre sans eau, sans air ou sans terre. Les intentions artistiques, scientifiques, architecturales et philosophiques décrites précédemment renvoient ainsi à un profond et nécessaire changement de valeurs.

Conclusion :

Changer de paradigme implique de changer de manière de voir les choses, profondément. Selon nous, une telle profondeur ne peut être atteinte par une démarche purement intellectuelle. Elle doit être accompagnée d'une démarche émotionnelle et corporelle. Le corps, souvent oublié par la force du mental, continue à être pour nous un outil moteur. Le Colectivo Terrón place la matière terre sur la scène en lui accordant la parole. Cet endroit privilégié « oblige » le public à dédier un peu d'attention à cette matière pauvre, oubliée, ignorée. Les réactions sont étonnantes : émotions, sensations, souvenirs, etc. Après plus de 200 représentations, d'ateliers de découverte et de formations, nous nous rendons compte que la terre a toute notre histoire à nous raconter. La matière terre nous remue, nous prend aux tripes.

Amàco place aussi la matière au cœur de l'innovation. Il porte en lui une nouvelle idée du progrès : la redécouverte du fonctionnement du génie de la nature.

Le corps et l'émotion sont pleinement intégrés dans leur pédagogie afin de changer de perception sur les matières brutes et/ou naturelles.

En partageant une philosophie commune, la simplicité de la matière, ces deux démarches poursuivent leurs actions dans des contextes très variés.

La plupart des constructions et des architectures d'aujourd'hui sont décontextualisées et déracinées de leurs paysages naturels et culturels, car nous sommes nous-mêmes des êtres déracinés. Les racines plongent dans la terre : elles plongent dans la matière. C'est précisément ce rapport de l'homme à « l'essence de la nature » de Wang Shu, au « noyau dur de la beauté » de Peter Zumthor, au « cœur caché des choses » de Pierre Meunier qui doit être restauré par la science, l'art, la poésie ou la philosophie. Changer le rapport de l'homme à la matière revient à changer le rapport de l'homme au monde.

Bibliographie :

- Alvarez Coll, N. (2012). *Tierra Efímera, sensibilisation au grand public*, Éditions Les Grands Ateliers.
- Anger, R. et Fontaine, L. (2009). *Bâtir en terre*, Éditions Belin.
- Troisième scène des chercheurs « Matières à jouer, matières à penser », *MANIP, le journal de la marionnette n° 24*.
- Troisième édition des journées professionnelles de la marionnette à Clichy (2011) autour du thème « Jouer par la matière, écrire par la matière ».
- Tàpies, A. (1970). *Rien n'est mesquin*.
- Alvarez Coll, N. et García Carabias, M. (2014). *Matière et arts du spectacle*.
- *Rencontre avec Pierre Meunier, metteur en scène de "Forbidden dispersersi"*. Festival d'Avignon, www.theatre-video.net.
- Einstein, A. (1934). *Comment je vois le monde*.
- Bachelard, G. (1948). *La terre et les rêveries de la volonté*.
- Zumthor, P. (2014). *Penser l'architecture*. Édition Gustavo Gili.
- Arlaud, S. (2007). La bibliothèque de terres du Poitou-Charentes. *L'actualité Poitou-Charentes n°75*.
- Jaunin, F. (2002). *Noir lumière, entretiens avec Pierre Soulages*. Éditions La Bibliothèque des Arts.
- Vergely, B. (2010). *Retour à l'émerveillement*. Édition Albin Michel.
- Ricciotti, R. (2013). *Étude d'une pensée constructive d'architecte*.
- Blake, W. (1803). *Auguries of Innocence*.

Notices biographiques :

GARCIA CARABIAS Miguel, Colectivo Terrón

Co-directeur artistique et responsable des méthodes pédagogiques du Colectivo Terrón, clown d'hôpital au sein de l'association Soleil Rouge. Il collabore avec différentes compagnies de théâtre et réalise des stages de formation autour du théâtre et des arts plastiques.

ALVAREZ COLL Nuria, Colectivo Terron, amàco / Grands Ateliers, CRAterre / AE&CC / ENSAG

Co-directrice artistique et responsable des contenus pédagogiques du Colectivo Terrón, chercheur associé du laboratoire CRAterre et de l'unité de recherche AE&CC-ENSAG, et architecte-artiste chercheur au sein d'amàco (atelier matières à construire) depuis 2013.

FONTAINE Laetitia, CRAterre / AE&CC / ENSAG et amàco / Grands Ateliers

Co-responsable de l'équipe Matière / Matériaux du laboratoire CRAterre et de l'unité de recherche AE&CC-ENSAG, responsable du centre de recherche pédagogique amàco (atelier matières à construire) et co-auteure du livre « Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture » (Belin).

ANGER Romain, CRAterre / AE&CC / ENSAG et amàco / Grands Ateliers

Co-responsable de l'équipe Matière / Matériaux du laboratoire CRAterre et de l'unité de recherche AE&CC-ENSAG, directeur pédagogique et scientifique du centre de recherche pédagogique amàco (atelier matières à construire) et co-auteur du livre « Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture » (Belin).

LEMARQUIS Anne, Colectivo Terrón

Membre fondateur et co-directrice de l'Ecole de Construction en Terre (ECoT) du Chili. En France, elle est responsable des Labos Pisé en partenariat avec le Conseil des Monuments Nationaux et membre du Colectivo Terrón.



La filière terre crue en France - enjeux, freins et perspectives

Elvire LEYLAVERGNE

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé

Cette étude propose des pistes d'actions pour renforcer la filière terre crue française, sur la base d'une meilleure connaissance de ses acteurs. Trois étapes structurent cette recherche. La première phase répertorie une grande partie des acteurs et cartographie les actions menées. La seconde, synthétise sous forme de cartes mentales, les forces, les faiblesses, les contraintes et les opportunités de la filière. Elle est issue de l'analyse des enjeux, des freins et des perspectives ressortis à travers une série d'entretiens et d'enquêtes, réalisés auprès de personnes engagées dans la construction en terre. La troisième étape ouvre sur des perspectives. Cette recherche aboutit sur trois résultats majeurs :

- une carte contemporaine du réseau français,
- l'identification de quatre obstacles : un réseau peu coordonné, un enseignement peu diffusé, une méconnaissance des cultures constructives traditionnelles et contemporaines de terre, et une faible capitalisation technique et scientifique,
- des actions dans quatre domaines : le réseau, la formation, la capitalisation technique et la diffusion culturelle.

Introduction

En 1981, l'exposition « Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire » présentée au Centre Georges Pompidou à Paris, proposait deux stratégies pour promouvoir la terre crue dans la construction. « Il s'agit d'abord de redécouvrir et de comprendre les témoignages, [...] ; [...] et surtout, de déployer des politiques d'actions qui globalement visent à réactualiser et à moderniser, à rationaliser et à promouvoir divers usages nouveaux de ce mode de construction ». Trente ans après, cette étude propose un état des lieux des enjeux, des contraintes et des perspectives pour la filière terre crue en France. Elle met en évidence la multiplicité des actions accomplies et identifie les contraintes rencontrées par ses acteurs. Elle repose sur une approche holistique, mobilisant les regards d'artisans, d'associatifs, de chercheurs et de collectivités territoriales. Elle croise différentes échelles d'interventions (européenne, nationale, régionale), réparties sur une trentaine d'années et propose des bases pour pérenniser son développement. Elle explore quatre hypothèses : le développement de filières locales participe à l'émergence d'un habitat écoresponsable ; l'amélioration de la coordination inter-professionnelle, à toutes les échelles, facilite l'émergence de filières courtes ; la sensibilisation, la formation et l'accompagnement technique, sont des leviers d'actions pour développer l'usage de la terre crue dans la construction ; une politique valorisant les filières courtes, terre crue, s'inscrit dans une dynamique territoriale globale.

1. Acteurs et outils d'une dynamique de filière

1.1. Les acteurs de la construction en terre crue

Trois objectifs guident cette première phase de recherche : préciser la composition nationale du réseau professionnel, mettre en avant les potentiels liés au patrimoine et construire un outil de communication inter-professionnel.

1.1.1. Un réseau d'acteurs professionnels diversifiés

Ce référencement national est basé sur des répertoires existants, des sources

bibliographiques et des références transmises par divers professionnels. Depuis les années 1980, le réseau des professionnels croît. En 1999, Maison Paysanne de France référençait une centaine d'entreprises. Treize ans plus tard, ce tissu compte près de 650 structures, réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain. Il est composé à 46% d'artisans, 16% de maîtres d'œuvre/ bureaux d'études, 16% de formateurs/organismes de formation, 5% de structures de sensibilisation, 9% de producteurs, 3% de structures institutionnelles, 3% de revendeurs et 3% de laboratoires de recherche. (voir Fig.1 et Fig.2)

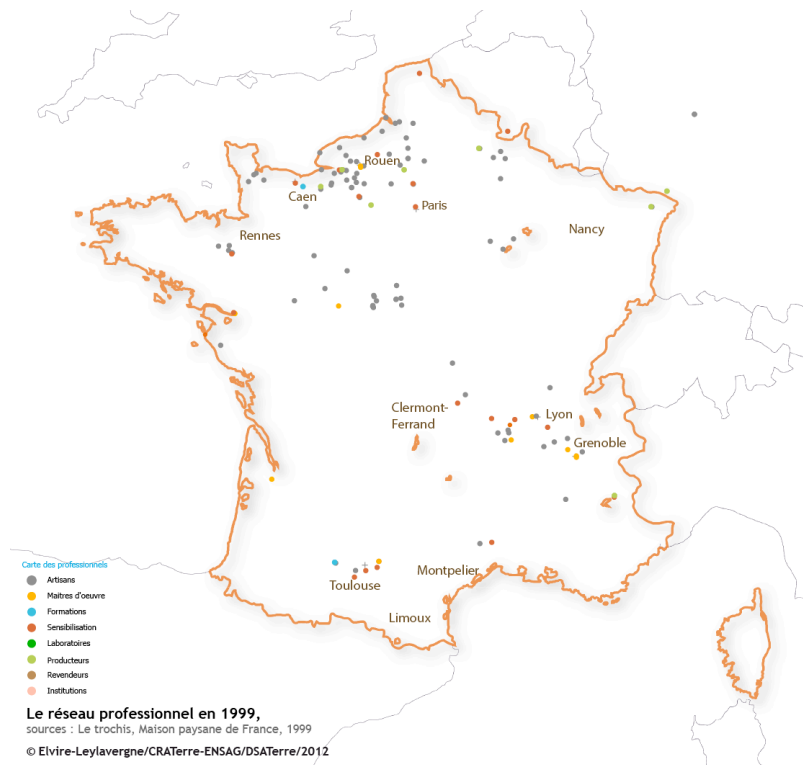


Fig. 1

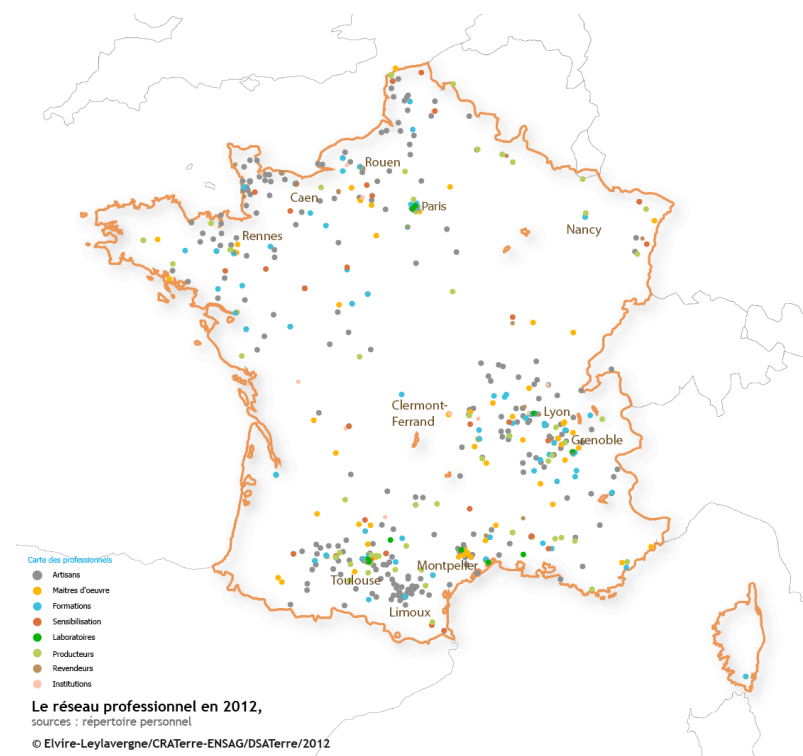


Fig. 2

1.1.2. Un réseau géographiquement polynucléaire

Depuis les années 1970, plusieurs acteurs, au sein de différentes régions, redécouvrent l'intelligence vernaculaire des architectures de terre crue. Leurs pratiques sont localisées et techniquement dispersées, du fait d'une grande diversité des matières premières et des cultures constructives existantes. Il en résulte plusieurs bassins de compétences, souvent liés aux dynamismes d'acteurs locaux, engagés autour de quatre thématiques : le patrimoine, l'écoconstruction, l'énergie grise et l'intensité sociale. Cette situation explique la dimension polynucléaire du réseau français. (voir Fig.3)

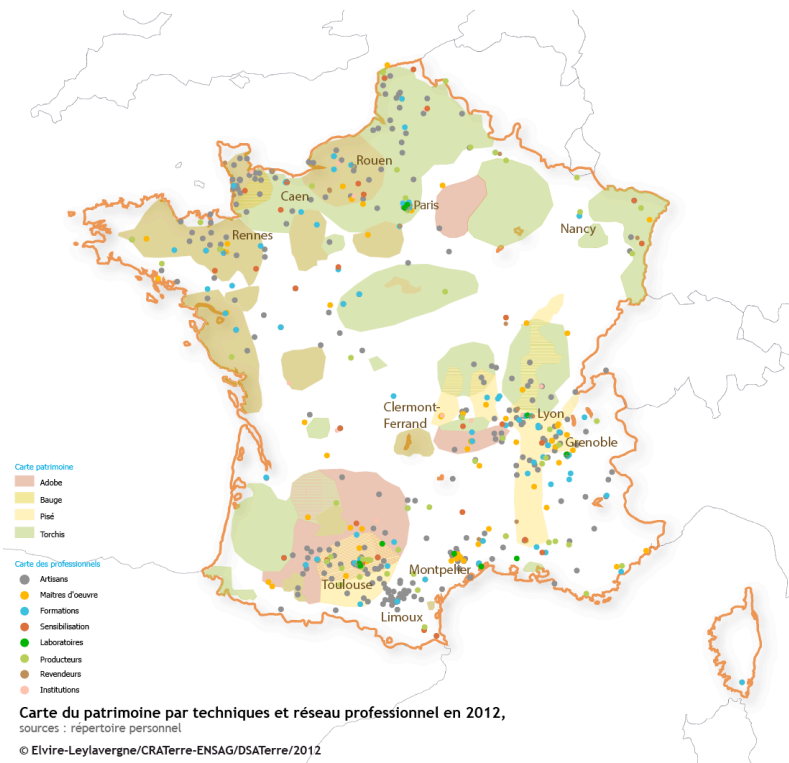


Fig. 3

Cette carte met en évidence trois pôles de développement étroitement liés à l'existence d'un patrimoine local :

- la côte nord-ouest, de la Bretagne au Pas-de-Calais, avec un patrimoine en torchis et en bauge,
- les régions Rhône-Alpes/Auvergne autour du pisé,
- le bassin Toulouse/Montpellier/Limoux, autour de l'adobe, du pisé, de la bauge, du torchis et des techniques mixtes.

Au regard des politiques d'économies d'énergies, cette carte représente les potentiels de réhabilitation du bâti ancien en terre crue, un domaine déjà mobilisé dans certaines régions.

1.1.3. Une demande croissante

Les maîtres d'ouvrages publics et privés sont des acteurs essentiels pour soutenir l'emploi de la terre crue dans la construction. Aujourd'hui, de plus en plus de propriétaires d'un patrimoine en terre prennent conscience de la valeur culturelle et environnementale de leurs bâtiments. Cette évolution est l'aboutissement d'actions de sensibilisation engagées depuis longtemps sur certains territoires. Une culture renaît, entraînant avec elle une demande croissante d'informations techniques et de professionnels qualifiés.

Afin de mettre en évidence cette dynamique, j'ai effectué un pré-inventaire à l'échelle nationale des projets construits ces dernières années. Il rassemble quelques réalisations

emblématiques édifiées dans les années 1985, et surtout des projets récents, en cours de construction ou d'étude. Cet inventaire non-exhaustif met en avant les deux marchés actuels de la terre crue : la réhabilitation du patrimoine bâti et l'éco-construction. Il combine des références issues de fiches projets élaborées par des Parcs Naturels Régionaux, des CAUE et des données transmises par des professionnels.

1.2. Les outils d'une dynamique de filière

Afin d'établir une perception générale de l'ensemble des dynamiques, la carte suivante, non exhaustive, recense les actions les plus marquantes, menées ces trente dernières années. (voir Fig. 4)

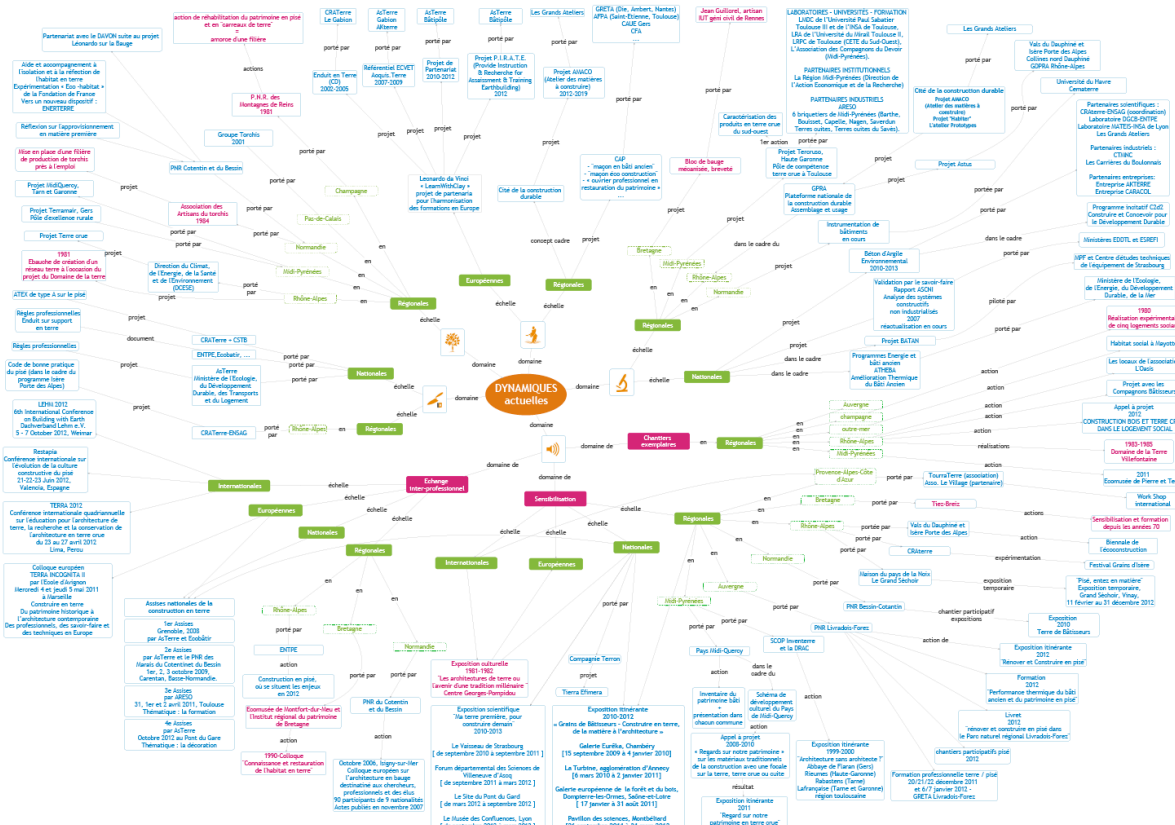


Fig. 4

Toutes les informations recueillies sont classées par échelle géographique dans six domaines : la communication, la recherche, la formation, la capitalisation technique et scientifique, les politiques de développement local et le réseau. Au cœur de la carte, la bulle orange indique le thème traité. Autour, gravitent les logos identifiants les six thématiques, auxquels sont rattachés, par échelles territoriales, les projets et porteurs de projets, disposés en périphérie dans des bulles bleues.

Cette carte met en avant la diversité des actions menées. Toutes les échelles sont concernées et mobilisées en terme de communication, d'échanges de savoirs et de savoir-faire, d'outils pédagogiques, de recherches. Aux échelles régionales et nationales, des réseaux d'acteurs s'activent et tentent d'inscrire le développement de la construction en terre crue au sein de politiques territoriales, répondant aux enjeux de l'habitat (valorisation culturelle, réhabilitation énergétique, filière de compétences,...). Depuis une dizaine d'années, des synergies entre artisans, institutionnels et associatifs se

multiplient et conduisent à mutualiser des savoirs sur différents territoires. De fait, un enjeu de coordination des coopérations interprofessionnelles ressort pour pérenniser ces dynamiques. L'objectif est alors de mutualiser les expériences, rendre lisible et utilisable les outils élaborés notamment à l'échelle européenne, pour rendre efficient l'emploi de la terre crue dans la construction contemporaine.

1.3. Perception des atouts de la filière par ses acteurs

Pour identifier ces atouts, j'ai construit un ensemble de cartes mentales. Elles sont basées sur l'analyse de trente deux entretiens, de multiples rencontres et les résultats d'une enquête menée par l'AsTerre en 2012 sur "l'état du marché de la construction en terre crue en France". Les entretiens ont été réalisés entre octobre 2011 et janvier 2012. Ils portaient sur les enjeux, les contraintes et les perspectives au développement de la filière terre crue.

Les données recueillies ont été extraites sous la forme d'analyses des forces et des faiblesses propre à la filière, des opportunités et des menaces liées au contexte général. Je les ai ensuite retranscrites graphiquement sous forme de cartes heuristiques. L'approche transversale, apporte une perception générale sur le fonctionnement de la filière. L'approche par catégorie professionnelle est plus fine et détaille tous les obstacles. Je ne retiens ici que l'approche transversale. Elle révèle des potentiels reconnus par tous : l'existence d'un tissu professionnel actif et l'émergence d'une nouvelle culture partagée sur l'architecture de terre crue.

En effet, les professionnels transmettent aujourd'hui leurs savoir-faire, développent des projets de recherches et proposent de nouveaux procédés constructifs (murs chauffants, terre coulée). Leur objectif est alors de bâtir une architecture où la terre crue prend tout son sens, par une utilisation en adéquation avec ses potentialités structurelles, techniques, hygrométriques et esthétiques.

D'autre part, sur les territoires où des actions de sensibilisation existent depuis plusieurs années, une culture générale sur l'architecture de terre et les spécificités de la matière terre se diffuse. Il en résulte une demande d'informations de plus en plus techniques. "La terre crue apparaît dorénavant comme un matériau nouveau dans le bâtiment" énoncent plusieurs artisans et formateurs.

En parallèle, des filières connexes très dynamiques, comme la paille, le chanvre, les biosourcés sont motrices. Enfin, tous convergent sur l'importance à donner aux chantiers et aux réalisations, véritables outils de démonstration de la diversité des alternatives constructives.

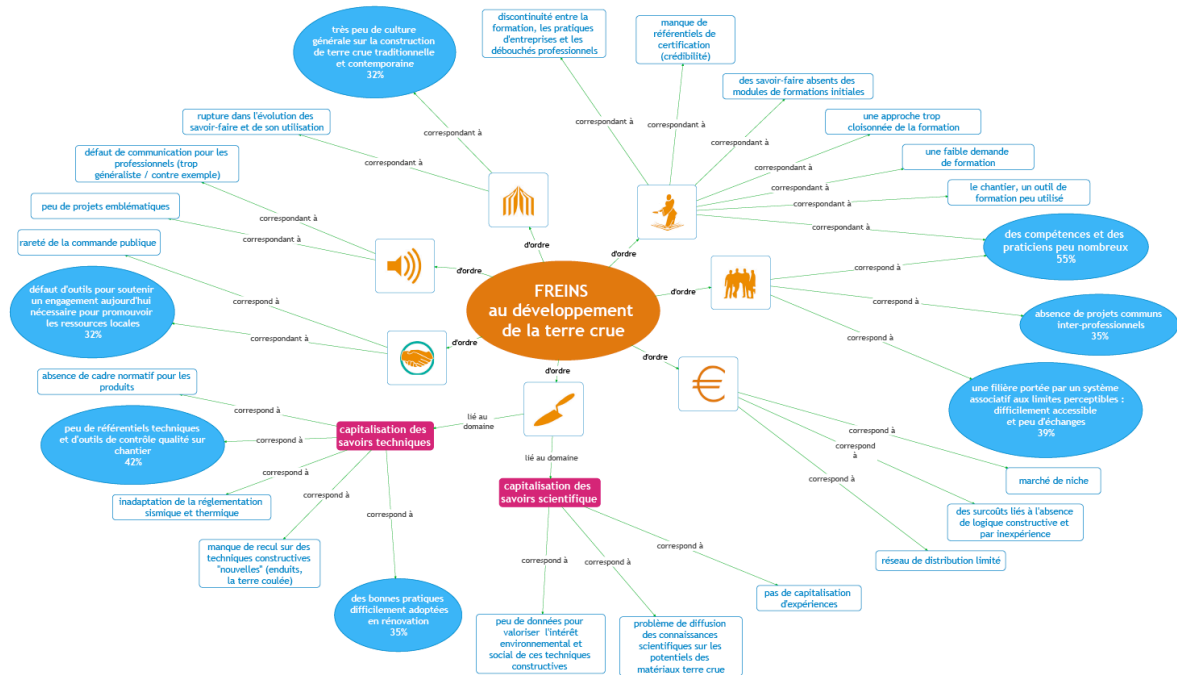
1.4. Bilan du contexte actuel

Cette analyse met en évidence la régénération d'une culture architecturale, actualisée aux vues des objectifs contemporains. Elle met en lien des enjeux sociaux, techniques et culturels. Jusqu'à présent, le développement de la construction en terre crue est polynucléaire et basé sur l'initiative d'acteurs locaux engagés, sans lien les uns avec les autres. De fait, il s'agit à l'avenir de promouvoir les dynamiques de coopération interprofessionnelle et institutionnelle, valorisant l'ensemble des expériences acquises. Le domaine de la formation illustre cette démarche avec par exemple, le projet P.I.R.A.T.. Il a pour objectif l'élaboration de référentiels de compétences, partagés à l'échelle européenne. Cependant, malgré un contexte positif, la filière se développe peu. De fait, les phases suivantes de cette recherche analysent précisément les obstacles actuels pour élaborer des propositions d'actions mettant en exergue des perspectives de développement.

2. Obstacles au développement de la filière

2.1. La filière terre crue, synthèse d'une enquête transversale

Pour identifier ces obstacles, j'ai réalisé un ensemble de cartes mentales basées sur les mêmes sources d'enquêtes qu'énoncées précédemment. Pour avoir une perception globale sur la filière les données sont traitées suivant une lecture transversale. Au coeur de la carte, les freins sont classés dans sept thématiques. Chacune regroupe un ensemble d'idées, dans lesquelles les témoignages issus des entretiens sont ordonnés par catégories professionnelles. (voir Fig.5)



Carte des freins au développement de la construction en terre crue
© Elvire-Leylavergne/CRAterre-ENSAG/DSATerre/2012

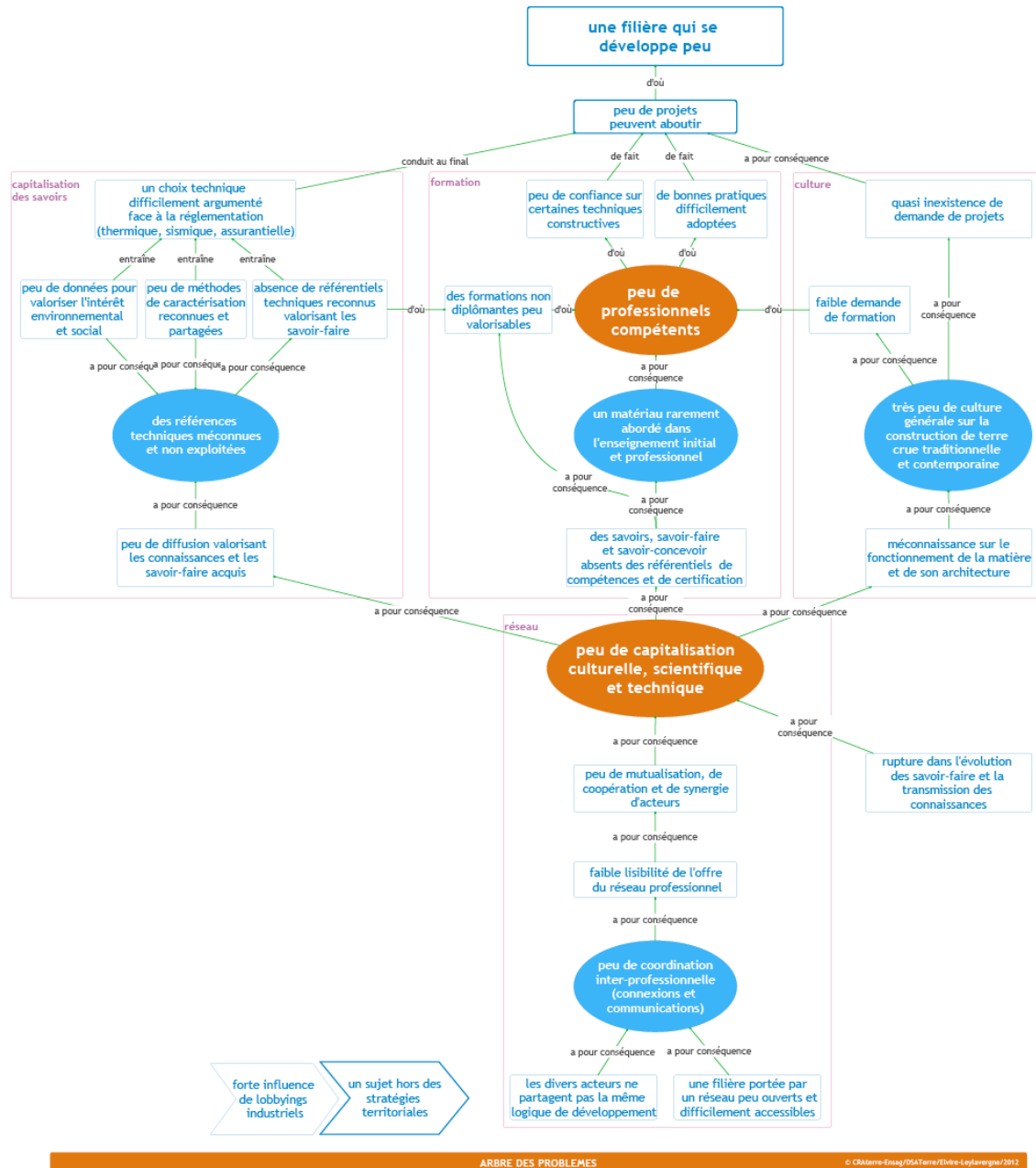
Fig.5

A l'issue de cette analyse, huit obstacles ressortent davantage :

- des professionnels peu formés aux techniques de construction en terre crue,
- des collaborations interprofessionnelles rares,
- des difficultés à atteindre les réseaux,
- des techniques d'interventions inadaptées en rénovation,
- des référentiels techniques inexistantes,
- un faible soutien institutionnel,
- une culture générale sur la construction en terre crue traditionnelle et contemporaine peu diffusée,
- des formations peu reconnues par manque de référentiel de compétences.

2.2. L'arbre des problèmes de la filière

Cet outil hiérarchise les obstacles selon des liens logiques entre les causes et les conséquences. Etant donné la complexité du contexte français, cet arbre des problèmes sera subdivisé en quatre sous arbres, articulés autour de quatre charnières. Elles regroupent les obstacles identifiés précédemment. (voir Fig.6)



Arbre des problèmes de la filière terre crue en France

© Elvire-Leylavergne/CRATerre-ENSAG/DSATerre/2012

Fig. 6

Globalement, la faible capitalisation culturelle, scientifique et technique est au cœur de cet arbre. Elle est issue d'une faiblesse dans l'organisation du réseau. Très peu de connexions interprofessionnelles ont lieu. Individuellement, les acteurs mènent dans leur domaine de compétences, de multiples actions de recherches techniques et culturelles, de sensibilisation, de formation et de développement de filière, sans mutualisation des résultats. De fait, peu de coopérations et de synergies sont effectives. Il en résulte des difficultés pour accéder à l'ensemble des savoirs et des savoir-faire aujourd'hui acquis. Cela génère une insuffisance d'informations reconnues diffusables et utilisables dans les domaines de l'enseignement, la réglementation, les politiques territoriales et la culture.

3. Perspectives de développement de la construction en terre en France

La dernière partie de cette recherche adopte une posture prospectiviste. Elle propose des pistes d'actions pour faciliter le développement de la construction en terre crue. Elle se base sur les résultats de l'étude précédente et s'inscrit dans un groupe de travail avec le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Un arbre des solutions est proposé en réponse à l'arbre des problèmes. Il est à la base des perspectives envisagées. Pour rappel, quatre enjeux sont ressortis dès la première approche du fonctionnement de la filière :

- valoriser les cultures constructives de terre crue traditionnelles et contemporaines
- reconnaître les savoir-faire des entreprises
- faciliter le choix de la terre crue pour les bâtiments neufs et la rénovation performante
- mobiliser la filière terre crue comme levier de développement local à faible énergie grise et forte intensité sociale.

Ils guideront l'ensemble des actions proposées ci-dessous.

3.1. Des problèmes aux solutions

L'arbre des solutions met en évidence quatre thématiques dans lesquelles de potentiels leviers d'actions peuvent être mis en œuvre. L'amélioration du fonctionnement en réseau est la base de toutes évolutions culturelles, scientifiques, techniques et d'enseignements. Elle se traduit par une meilleure coordination et coopération interprofessionnelle dont la capitalisation culturelle, scientifique et technique est le résultat. De fait, elle faciliterait la diffusion d'enseignements sur la terre crue, la renaissance d'une culture générale sur ce mode de construction et l'identification de références reconnues et utilisables par tous. Ces trois avancées généreraient une augmentation du nombre de professionnels compétents, renforçant au final le développement de la filière.

3.2. Quatre perspectives d'actions

3.2.1. Perspectives de réseau

L'objectif spécifique proposé consiste à mettre en place des méthodologies interprofessionnelles de développement de filières courtes.

Pour y parvenir quatre actions sont proposées :

- établir une image réelle de la portée économique et sociale de la filière,
- connecter et coordonner les professionnels de la filière,
- rendre visible les acteurs et les actions de la filière,
- représenter la filière dans les grandes manifestations et dans les groupes de travail institutionnels, liés à la terre crue et au secteur du bâtiment en général, aux échelles nationales, européennes et internationales.

Les résultats escomptés sont : valoriser les compétences existantes, optimiser les ressources, animer les réseaux, favoriser l'innovation, améliorer la représentativité de la filière et défendre ses intérêts.

3.2.2. Perspectives de formation

L'objectif spécifique proposé consiste à augmenter le nombre de professionnels compétents dans tous les domaines, de la conception à la réalisation, en passant par la maîtrise d'œuvre et la formation.

Pour y parvenir, trois actions sont proposées :

- faire un état des lieux des unités pédagogiques dans l'enseignement national et les

formations professionnelles dans le bâtiment intégrant des modules sur la terre,

- développer des référentiels de compétences,
- faciliter la mise en place des formations.

Les résultats escomptés sont: l'élaboration de référentiels de compétences et de certifications pour déterminer les savoirs techniques et théoriques à acquérir à chaque niveau d'apprentissage, et mettre en place les formations correspondantes.

3.2.3. Perspectives de communication

L'objectif spécifique consiste à faciliter la renaissance d'une culture générale sur les constructions de terre crue traditionnelles et contemporaines.

Pour y parvenir, trois actions sont proposées :

- sensibiliser les structures relais des Conseils Régionaux et Départementaux, les CAUE, les PNR, ainsi que les représentants des professionnels, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'oeuvre, les entreprises, les artisans et le grand public, par des visites de chantiers, des conférences, des publications, une présence dans les médias et sur les salons,
- fournir de l'information technique aux professionnels,
- mobiliser les outils institutionnels pour mettre en cohérence les dynamiques de sensibilisation avec les règles d'urbanisme.

Les résultats attendus sont : la mise en place de stratégies de communication à plusieurs échelles, s'appuyant sur les acteurs locaux et l'émergence d'un public de professionnels et de particuliers informés des solutions constructives utilisant la terre crue.

3.2.4. Perspectives de capitalisation des acquis

L'objectif spécifique proposé consiste à établir des références techniques et scientifiques sur les matériaux et les ouvrages en terre crue, leur mise en oeuvre et leur combinaison avec d'autres matériaux.

Pour y parvenir, cinq actions sont proposées :

- collecter et rendre accessible les informations sur les caractéristiques des matériaux et des ouvrages en terre crue et leur combinaison avec d'autres matériaux,
- renforcer les échanges entre les centres de recherches par une meilleure coordination,
- produire des référentiels techniques (codes de bonnes pratiques, règles professionnelles, avis techniques d'expérimentations et documents techniques unifiés)
- mettre au point des outils communs et reconnus de caractérisation des matériaux et ouvrages de terre crue,
- faciliter l'application de la réglementation sismique.

Les résultats escomptés sont de doter les professionnels constructeurs, concepteurs, formateurs, producteurs et assureurs d'outils reconnus par tous.

Conclusion

A travers une approche transversale et pluridisciplinaire, cette étude apporte de meilleures connaissances sur la structure de la filière (réseaux, jeux d'acteurs, dynamiques de formations, de recherches et de sensibilisations). Elle met en évidence la diversité des outils développés par des professionnels de plus en plus nombreux. La mise en exergue des freins, l'analyse des causes et conséquences, m'ont permis d'identifier une difficulté majeure et des perspectives d'actions. En effet, la faible coordination inter-professionnelle et inter-disciplinaire débouche sur une perte de capitalisation technique et scientifique et une faible reconnaissance des nombreuses formations proposées. Dans ce contexte, quatre domaines d'action sont ciblés : le réseau, la formation, la communication et la

capitalisation des savoirs. Pour y parvenir, il est nécessaire d'élaborer une politique nationale favorable au développement de la filière terre crue. Elle repose sur une meilleure coordination inter-professionnelle utile aux politiques locales de filières courtes. Elle nécessite un relais institutionnel dans le domaine de la formation. Elle appuie l'élaboration de référentiels techniques et scientifiques. Elle propose la mise en place d'une stratégie de communication pour reconstruire une culture générale sur la terre crue. L'objectif général étant de mobiliser la construction en terre crue comme levier de développement local à faible énergie grise et forte intensité sociale, facilitant l'émergence d'un habitat éco-responsable. Ainsi, l'énergie humaine investie depuis de nombreuses années dans cette revalorisation, prend aujourd'hui toute sa place dans les logiques de développement de circuits courts. Elle relocalise l'économie. Elle facilite une réappropriation des ressources locales. Elle crée des emplois à forte valeur ajoutée. Les acteurs qui prennent part à son émergence se diversifient. De fait, la transition vers un habitat éco-responsable devient envisageable pour tous.

Bibliographie

Mémoires

BEGUIN, M. (2010), *Savoir en construction*, mémoire de DSA-Terre 2008-2010, Dir. Arnaud MISSE, CRAterre-ENSAG, Ministère de la culture et de la communication Direction de l'architecture et du patrimoine, Grenoble
VEYSSEYRE, S. (2009). *Comment développer l'usage de la terre crue dans la production architecturale française*, rapport d'étude, ENSAL, Lyon

Ouvrages

HANS, J. (1990). *Le Principe Responsabilité*, (traduction française), Les Editions du Cerf, Paris
HOPKINS, R. (2010). *Manuel de transition de la dépendance au pétrole à la résilience locale*, Ecosociété
MAGNAGHI, A. (2003). *Le projet local*, (traduction française) Pierre Mardaga éditeur, Sprimont (Belgique)
SCARATO, P. (1984). *Inventaire du patrimoine en pisé du département de la Loire*, PISE TERRE D'AVENIR, Clermont-Ferrand
RABHI, P. (1996). *Parole de terre Une initiation africaine*, Albin Michel, Paris
DETHIER, J. (1981). *Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire*, catalogue d'exposition, Centre Georges Pompidou, Centre de création industrielle, Paris

Articles

GUILLAUD, H. (2010). *CONSTRUIRE EN TERRE Dans une démarche globale, ce matériau prouve toute sa pertinence*, Les cahiers techniques du bâtiment n°295, p.46-56
Terre d'avenir, (1985). *Le réseau terre, Who is Who Terre à Terre, Répertoire des acteurs de la "filiale terre"*, revue H n°111, p. 115-118
MPF. (1999). *Le torchis en France*. Maison paysanne de France, Paris

Enquêtes

AsTerre. (2012). *L'état du marché de la construction en terre crue en France*, AsTerre
Lahure, F. (2000). *Enquête sur la pratique des artisans mettant en œuvre le torchis*, Parc Naturel Régional de Brotonne, CAPEB Haute-Normandie
Réseau rural Français. (2011). *Développer les filières locales pour la construction durable*, compte rendu de réunion.

Rapports d'études

CSTB (2011). *Obstacles au développement économique des filières des matériaux et produits bio-sourcés pour la construction et plan d'actions pour les surmonter*, pour le Ministère de l'écologie du développement durable, des transports et du logement.

Notice biographique

Architecte HMONP, spécialisée dans la construction en terre crue, Elvire Leylavergne est diplômée de l'ENSA de Grenoble et du laboratoire CRATerre. Actuellement architecte au sein de l'Atelier Zéro Carbone Architectes en Côte d'or, elle développe l'utilisation des différentes techniques de construction en terre crue au sein de projets essentiellement viticoles.



« Au cœur de la filière habitat adapté / matériaux locaux en Afrique Sahélienne : enjeux et défis d'un programme de vulgarisation architecturale à grande échelle »

Association la Voûte Nubienne, Thomas GRANIER, Mathieu HARDY, Bruno JARNO, Antoine HORELLOU

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RÉSUMÉ :

Depuis 16 ans, en Afrique Sahélienne, l'Association la Voûte Nubienne (AVN) déploie un programme de vulgarisation architecturale à grande échelle afin de permettre au plus grand nombre de personnes et le plus rapidement possible, d'accéder à un habitat adapté. Les clés historiques des premières réussites de ce programme résident tant dans l'adaptation aux réalités locales que dans le développement de solutions techniques simples, de méthodes de vulgarisation déployées par des opérateurs issus des milieux bénéficiaires et de supports pédagogiques. Les principaux défis auxquels AVN fait face sont de trois ordres : l'ancrage local du marché (croissance de l'offre, ouverture sur l'urbain, le public/communautaire et le formel...); l'ancrage institutionnel d'une approche de développement (droit au logement, micro-finance et subventions, implication des acteurs politiques locaux et inscription dans les stratégies nationales...); les enjeux environnementaux mondiaux (programmes environnementaux, atténuation/adaptation au changement climatique...).

ARTICLE :

« L'accès à un habitat abordable est devenu l'un des plus importants problèmes mondiaux et c'est en Afrique que cette problématique est la plus préoccupante »¹. C'est en réponse au besoin d'« un habitat adapté, le plus rapidement possible, et pour le plus grand nombre » que l'Association la Voûte Nubienne (AVN) met en œuvre depuis 2000, en Afrique Sahélienne, un programme de vulgarisation d'une architecture adaptée utilisant les ressources locales.

La stratégie portée par AVN est le résultat d'un processus évolutif. Ayant d'abord simplifié et modularisé la technique ancestrale de la Voûte Nubienne (technique de construction n'utilisant que des matériaux locaux et principalement la terre), afin de la rendre accessible d'abord aux populations rurales, AVN a ensuite fondé le postulat selon lequel c'est par le « Marché » que la démonstration de la viabilité de cette solution technique sera faite. Sa croissance et son adaptabilité garantissent en dernier lieu son déploiement à grande échelle.

À ce jour, le programme a généré, dans cinq pays, des résultats tant socio-économiques qu'environnementaux croissants et prometteurs.



Fig. 1. Carte de déploiement du programme « UN TOIT, UN MÉTIER, UN MARCHÉ »

1 Discours du Dr Clos, Directeur Exécutif de l'ONU-Habitat, tenu à Nairobi le 28 octobre 2014.

Après avoir dressé un aperçu des problématiques auxquelles AVN répond via son programme « UN TOIT, UN MÉTIER, UN MARCHÉ », la seconde partie de l'article s'attachera à montrer en quoi le développement d'une pédagogie innovante s'est révélé être une solution clé en terme de développement. Enfin, nous aborderons les défis, notamment en terme d'ancrage institutionnel et de diversification des acteurs, auxquels AVN fait face, avant de conclure sur les résultats du programme et ses perspectives de développement futur.

1. L'ASSOCIATION LA VOÛTE NUBIENNE : UN ACTEUR ENGAGÉ

1.1 « Essentialité » des questions de l'Habitat

Qu'il soit rural ou urbain, individuel ou collectif, modeste ou cossu, l'Habitat est un socle fondamental des activités et des valeurs humaines². Le caractère transversal de ce secteur le place au cœur de toutes les évolutions sociétales :

- Véritable pilier des économies mondiales - « *quand le Bâtiment va, tout va !* » - l'Habitat permet un dynamisme important en matière d'emploi. Il porte également les acquis du patrimoine et les valeurs de sa transmission ;
- L'Habitat signe les cultures et les identités collectives et individuelles. Il est, de par sa nature, le socle de la vie familiale et des capacités d'éducation et d'émancipation ;
- Les questions de droit, de salubrité, d'espérance de vie, de bien-être et de confort sont implicitement liées aux conditions de logement ;
- Les services publics, en particulier les services de base (santé, éducation, logement), les domaines de l'agriculture, de l'élevage, de l'artisanat et de l'industrie sont largement tributaires des réalités architecturales. Les problématiques du logement se placent au cœur des questions d'urbanisme et d'aménagement du territoire ;
- Le secteur de l'Habitat se trouve être un des premiers contributeurs au réchauffement climatique. Le cycle des matériaux utilisés (production / acheminement / fin de vie), les processus de construction/déconstruction et d'usage (performances énergétiques / confort) font partie des principaux enjeux environnementaux actuels.

1.2 200 millions d'Africains en attente d'un Habitat décent³ : une situation mal prise en compte

En Afrique sahélienne, les réalités démographiques (évaluées à + 150 % au Sahel d'ici 2050⁴) et économiques, la disparition (déforestation / désertification) des ressources ligneuses utilisées dans les architectures traditionnelles et la croissance galopante de

2 « *Housing is one of those basic social conditions that determine the quality of life and welfare of people and places. Where homes are located, how well designed and built, and how well they are weaved into the environmental, social, cultural and economic fabric of communities are factors that, in a very real way, influence the daily lives of people, their health, security and wellbeing, and which, given the long life of dwellings as physical structures, affect both the present and future generations. Housing is therefore central to sustainable development.* » UN-Habitat (2012). *Sustainable housing for sustainable cities. A policy framework for developing countries*. Nairobi, p.3.

3 « *De nos jours en Afrique Subsaharienne, il est estimé que 199,5 millions de personnes vivent dans des quartiers précaires.* » - <http://unhabitat.org/urban-themes/housing-slum-upgrading/>

4 « *... croissance démographique estimée à environ x 2,5 au Sahel d'ici 2050* » United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). *World Population Prospects : The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.228, New York.

l'urbanisation font que des millions de familles n'ont plus accès à un Habitat décent.

En dépit de l'attrait culturel qu'elles suscitent, les techniques dites «modernes», les matériaux qu'elles nécessitent (ciment, acier, tôles, chevrons, etc.) et les économies dans lesquelles elles s'inscrivent (importation, utilisation de numéraire) n'apportent pas de solution appropriée et viable aux besoins en habitat du plus grand nombre.



Fig. 2. Vue aérienne d'un quartier populaire et de ses toitures en tôles. Burkina Faso

Malgré l'urgence de ces problèmes, ni les acteurs politiques, ni la société civile ne semblent avoir pris la mesure des enjeux qu'elle sous-tend. À ce jour, en Afrique Sahélienne, il n'existe aucun programme institutionnel (de portée nationale ou sous-régionale) ambitieux visant l'accès à un Habitat décent pour tous. Cette situation amplifie l'abandon des pratiques agricoles vivrières, contribue à l'accélération de l'exode rural et à la diminution des capacités d'absorption du milieu urbain.

Il paraît alors évident que, tout en impliquant sur le long terme des évolutions culturelles et économiques complexes et des investissements conséquents, la transformation concrète de la situation de l'Habitat renforcera positivement l'ensemble des activités humaines en Afrique Sahélienne.

1.3 Les évolutions climatiques : amplification d'une problématique majeure

Les évolutions climatiques déjà constatées et les tendances à venir (hausse des températures moyennes et extrêmes, modification des régimes de précipitations et des vitesses des vents, sécheresses et désertification) liées à la grande vulnérabilité des populations africaines qui les subissent, mettent en évidence le besoin urgent de maisons durables, confortables et accessibles. Ce constat est d'autant plus prégnant que « *la conception et l'utilisation de l'environnement bâti est une question fondamentale pour l'atténuation du changement climatique car, dans la plupart des pays, le secteur du bâtiment consomme environ un tiers de l'énergie finale employée et une part encore plus grande d'électricité* »⁵.

À cela s'ajoute la fragilité des écosystèmes et des économies en Afrique Sahélienne, situation bien réelle qui n'offre aux populations locales que peu de capacité d'adaptation et rend difficile la résilience alors même qu'elles ne portent qu'une part marginale des responsabilités de ces évolutions climatiques⁶.

5 Programme des Nations Unies pour les établissements humains (2011). *Rapport Mondial 2011 sur les établissements humains. Les villes et le changement climatique : orientations générales*. Earthscan Ltd, Londres * Washington, DC
6 « Les pays en voie de développement sont ceux qui génèrent le moins d'émission de CO₂ par an et par habitant, et tout particulièrement l'Afrique avec +/- 1 tonne/hab/an contre +/- 9 en Europe et +/- 20 aux États Unis » (émissions de

1.4. « Un toit, un métier, un marché » : le concept développé par AVN



Fig 3. « Un Toit, un métier, un marché ».

Ainsi, au regard du caractère transversal de l'Habitat dans le développement, et de la vulnérabilité des populations sahéniennes face aux contraintes économiques, démographiques, environnementales et climatiques grandissantes, AVN s'est fixée pour mission de permettre l'accès pérenne à un habitat adapté, le plus rapidement possible et pour le plus grand nombre de sahéniens. Pour se faire AVN a développé un concept, qui a donné son nom au programme « UN TOIT, UN MÉTIER, UN MARCHÉ » :

- UN TOIT : AVN, via des méthodes innovantes, permet l'amorce du marché Voûte Nubienne (VN) à des échelles nationales, régionales et locales. Les acteurs locaux sont sensibilisés, la demande émerge et permet l'appui à la réalisation de bâtiments bas-carbone adaptés et à la formation in-situ d'artisans-maçons VN.
- UN MÉTIER : AVN met en place un ensemble d'activités permettant de renforcer les savoir-faire de la filière VN (artisans-maçons, entrepreneurs, techniciens, architectes et ingénieurs, etc.), dans les économies tant formelles qu'informelles : formation technique et entrepreneuriale, expertise, recherche et capitalisation technique.
- UN MARCHÉ : AVN propose un ensemble d'activités permettant l'intégration institutionnelle de la Voûte Nubienne : intégration de cette solution d'habitat adapté aux politiques publiques locales et nationales, produits financiers d'accès à l'habitat.

2. UNE PÉDAGOGIE INNOVANTE AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT

2.1. Identification et simplification d'une technique ancestrale : répétition et modularité comme gage de réussite

Jusqu'à la fin du XXe siècle, la technique constructive dite « voûte nubienne » était

CO2 liés à la combustion de combustibles fossiles et à la fabrication de ciment. Hors émissions de gaz à effets de serre propres aux process industriels, à l'agriculture, au traitement des déchets, hors utilisation et changement d'affectation des terres et foreries). Programme des Nations Unies pour le développement des établissements humains (2011). Rapport Mondial 2011 sur les établissements humains. Les villes et le changement climatique : orientations générales, Graphique p.15 (p. 8 version anglaise).

totallement inconnue en Afrique Subsaharienne. Ce n'est qu'au début des années 1980 qu'elle y sera introduite par l'ONG Development Workshop via le programme « Construction Sans Bois ⁷ », d'abord au Niger, puis au Mali et au Burkina Faso. Son objectif consistait à apporter, par le biais de l'Habitat, une réponse aux problématiques de surconsommation de bois et de dégradation de l'environnement en région sahélienne.

Lorsqu'à la fin des années 1990, les fondateurs d'AVN s'intéressèrent à leur tour à la problématique de l'Habitat en Afrique Sahélienne, ils portèrent naturellement leur attention sur cette technique. Leur intérêt était d'explorer la possibilité de se passer des ressources ligneuses traditionnellement utilisées dans les constructions, tout en s'affranchissant de certains matériaux dits « modernes » tels que la tôle et le ciment jugés inadaptés aux réalités locales.

Réalisée sans coffrage, une Voûte Nubienne ne fait appel qu'à des matériaux locaux largement disponibles, ne nécessitant ni cuisson, ni stabilisation (compression, ajout de liants hydrauliques) ; cette technique constructive constituait donc effectivement une solution environnementale. Toutefois la dimension « développement socio-économique » restait à explorer et il fallait surtout se poser la question de son potentiel d'adaptation et d'appropriation par le plus grand nombre. C'est bien cette question fondamentale qui amènera AVN à adopter une position technique intransigeante parfois mal comprise : le choix de la simplification de la Voûte Nubienne originale et la systématisation du modèle adopté (pas de dômes, dimensions standardisées, etc.) afin de permettre sa diffusion à grande échelle.

Effectivement, comparée aux techniques constructives traditionnelles les plus répandues dans cette région du monde, la technique Voûte Nubienne introduit, dans la plupart des cas, un degré de complexité technique supérieur. L'enjeu principal était donc de pouvoir la rendre largement accessible et donc facilement duplicable (facilité de transmission, rapidité d'apprentissage, réduction des risques), sans exclure que vraisemblablement, à terme, une possibilité de diversification et de complexification se fasse de manière plus ou moins spontanée.

À l'issue de cette réflexion, le Concept Technique VN présentait les caractéristiques suivantes :

- Le bâti est presque exclusivement constitué de terre crue, matière première abondante, mouillée et malaxée, puis moulée sous forme de briques qui sècheront au soleil (adobes) ou utilisée directement sous forme de mortier. Seules les fondations font appel à la pierre,
- Les toitures sont exclusivement voûtées (pas de dôme) et permettent/favorisent l'usage du toit-terrasse par leur mise en charge,
- La construction des voûtes ne nécessite pas de coffrage ni aucune autre sorte de support,
- Les pièces ont une largeur (portée de la voûte) maximum de 3m30 et sont construites à partir de briques de dimensions standard pour les murs et de briquettes pour la toiture et les arcs formant linteaux,
- Un "câble-compass" est utilisé pour définir la courbe de la voûte et guider le maçon dans son travail,
- Les murs, suivant leurs différents usages, sont d'épaisseurs standardisées ainsi que les ouvertures des portes, fenêtres, et autres niches maçonnées,

7 <http://www.dwf.org/fr/content/la-construction-sans-bois>

- Des campagnes d'information pour générer des clients
- Des campagnes de formation pour générer des maçons

Information des clients et formation des maçons constituent le tronc du programme auquel se rattachent les nombreuses autres activités participant du renforcement de la filière VN.

2.2.3 Une méthode innovante d'amorce du marché

Afin d'amorcer le marché, le programme utilise une méthode de vulgarisation dite « AMORCE » sur des territoires ciblés (villages, zones, régions et pays), l'échelle référente étant le Village Pilote⁸. Cette méthode est mise en application par des équipes de vulgarisateurs qui :

- Identifient des « personnes ressources » locales convaincues et convaincantes qui les aident à toucher leurs communautés ;
- Sensibilisent les populations afin de faire émerger les clients (demande) et les candidats à l'apprentissage (offre) ;
- Suivent le bon déroulement des chantiers locaux réalisés par des maçons VN qualifiés exogènes dans une réalité de marché ;
- Suivent le bon déroulement de la formation « sur le tas » des apprentis locaux.

Cette dynamique (sensibilisations / chantiers / formations « sur le tas ») est soutenue par AVN sur des périodes moyennes allant de 4 à 6 ans. Tout au long du processus, des critères d'évaluation permettent de juger du niveau de pénétration du marché (nombre de bâtiments construits / nombre de maçons formés / croissance), et de décider en temps voulu de la mise en place d'actions visant la densification du marché (voir plus bas 2.2.5).

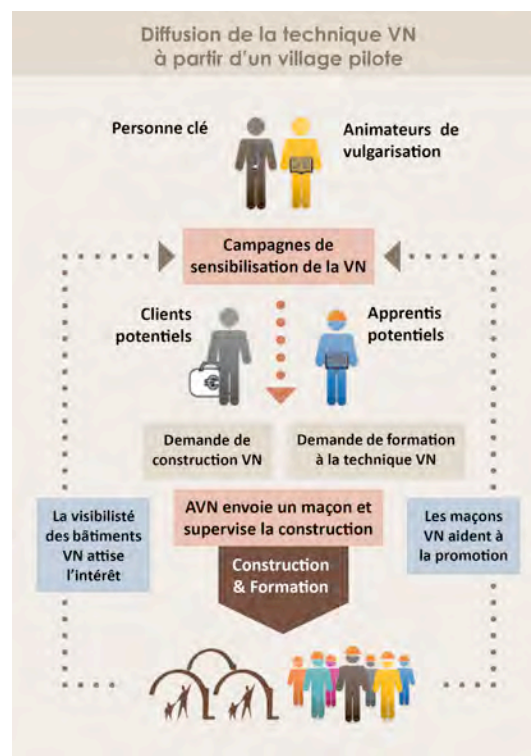


Fig. 5. Schéma d'illustration des grands principes de la méthode Amorce

⁸ Un Village Pilote est constitué d'un village épicentre et d'un ensemble de villages situé dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres.

2.2.4 Une équipe de professionnels au service du programme

Le programme est conduit par des professionnels et experts qui forment une équipe pluridisciplinaire (développeurs, gestionnaires, administrateurs, architectes, ingénieurs, techniciens, formateurs, économistes, animateurs, etc.) engagée à son service.

2.2.5 Densification du marché : étape vers l'autonomie et le retrait du programme

La croissance exponentielle du marché VN⁹ a confirmé la validité de la méthodologie d'amorce de marché. Cependant, le manque d'acteurs locaux capables de diffuser la technique de façon autonome (tous acteurs de la filière, organisations de la société civiles, acteurs politiques et financiers) démontre que le marché VN n'a pas atteint sa croissance optimale par les seules actions d'amorce. Partant de ce constat, AVN développe des méthodes de densification du marché qui consistent en des actions d'appui à la structuration d'une véritable filière professionnelle, adaptée aux économies locales et insérée dans un environnement financier, normatif et institutionnel favorable. L'autonomie du marché se fera donc après une phase de densification suffisante pour donner à l'ensemble des acteurs concernés les outils leur permettant de s'appropriier et de développer le marché VN tout en créant un environnement favorable à cette même appropriation par d'autres. Ces acteurs prendront ainsi le relai d'AVN dans la diffusion de la VN et permettront ainsi, à terme, le retrait de l'association.

2.3. Renforcement des méthodes de vulgarisation et des pédagogies qui la sous-tendent : dynamique d'adaptation aux contextes

Les méthodes d'amorce et de densification du marché VN sont des méthodes dynamiques en constante adaptation à des réalités locales diverses et variées d'une part, à une logique de marché émergeant et évoluant d'autre part. Un des défis les plus importants qui y sont liés consiste en la capacité d'AVN à créer des outils simples à comprendre et à utiliser. Afin d'illustrer cette idée, nous présentons ici deux thématiques du programme, l'une transversale et donc liée à toutes les activités, l'autre spécifique à la formation des maçons.

2.3.1 Les supports pédagogiques et les outils de pilotage

AVN développe et utilise une grande variété de supports et d'outils qui se répartissent selon deux catégories :

- Des supports pédagogiques à destination des différents acteurs collaborateurs ou bénéficiaires du programme : Manuel de Vulgarisation / Manuel du Maçon Nubien / supports de sensibilisation / supports de formation / etc. ;
- Des outils de pilotage du programme : suivi des apprentis et des maçons / suivi des chantiers / indicateurs de résultats, effets et impacts / etc.

Si les premiers ont pour vocation de permettre la formation, et donc in fine le bon positionnement de chacun des acteurs intervenant sur le programme (collaborateurs ou bénéficiaires), les seconds permettent le pilotage des activités sur un mode entrepreneurial en garantissant un cadre d'observation du marché VN et de ses

⁹ 33% de croissance moyenne annuelle sur les 10 dernières années.

évolutions, la mesure des impacts sociaux-économiques et environnementaux qui en découlent et l'anticipation des activités d'accompagnement devant être proposées.

2.3.2 La Formation Soutenue : processus de développement de nouvelles activités pédagogiques

AVN est impliquée depuis sa création dans la formation de maçons qui, jusque récemment, s'apparentait exclusivement à une formation spontanée dispensée sur chantiers réels (ou « sur le tas »), dans une logique de compagnonnage.

Bien que jugée efficace de par ses résultats¹⁰, la principale contrainte de ce mode de formation repose sur le fait que la majorité des chantiers se déroule en zone rurale auprès d'une clientèle à faibles revenus dont les moyens permettent seulement de payer les maçons et apprentis pour l'exécution des tâches de construction. L'équipe (maçons et apprentis) étant à la charge du client, le chef de chantier ne dispose pas toujours du temps nécessaire pour garantir une formation optimale de ses apprentis dans des délais satisfaisants, tant en termes de techniques qu'entrepreneuriaux.

Par ailleurs, depuis plusieurs années, AVN observe dans tous ses pays d'intervention que la demande pour des bâtiments VN grandit plus vite que l'offre (environ 30% d'augmentation de la demande contre 20% pour l'offre). L'amplification progressive de la tendance actuelle risquerait à terme de porter préjudice au marché VN en décourageant les potentiels clients.

Face à ce double constat, AVN développe depuis 2012 des activités de Formation Soutenue tant technique qu'entrepreneuriale afin de renforcer à la fois quantitativement et qualitativement l'offre VN. Ces nouvelles activités pédagogiques fortement soutenues se déroulent tant sur chantiers réels qu'en centres, et doivent permettre le renforcement de la qualité des savoir-faire VN ainsi que l'émergence d'une « élite » de Maçons Formateurs particulièrement engagés et adoptant progressivement une position de « référents » sur les plans technique, pédagogique et entrepreneurial.

Le renforcement de l'offre VN constitue aujourd'hui la première ligne stratégique du programme, tant les questions de capacités de production sont déterminantes pour l'avenir du marché VN et son autonomie à terme.

2.4 Le renforcement des règles professionnelles et des supports techniques VN : constitution d'un « Corpus Technique VN »

Le « Manuel du Maçon Nubien » est le premier support technique à avoir été produit pour décrire les différentes étapes de mise en œuvre du Concept Technique VN. Considérant la cible paysanne à laquelle le document devait s'adresser prioritairement, le principe de création du Manuel consista en l'utilisation systématique de « dessins au trait » produits le plus souvent à partir de photos de chantier et permettant de disposer de fiches techniques facilement compréhensibles, sans obligation de lecture des textes.

¹⁰ 635 maçons, artisans et entrepreneurs ont été formés selon ce principe de compagnonnage, depuis 16 ans.

08.2 Module voutains ATELIER 1: CÂBLE-COMPAS

1 FABRICATION DU CÂBLE-COMPAS



Démonstration et explication par le MF de la fabrication du câble-compas, aidé de ses apprenants.

2 MISE EN PLACE DU CÂBLE-COMPAS



Le MF met en place le câble sur un côté, sous le regard des apprenants.



Mise en place du câble sur le deuxième côté par les apprenants, sous le regard du MF.



Le MF et les apprenants mettent en tension le câble avec deux bouts de bois.

2 REGLAGE DU CÂBLE-COMPAS



Le MF montre aux apprenants comment mesurer la hauteur du câble.



Le MF vérifie le niveau du câble sous le regard des apprenants.

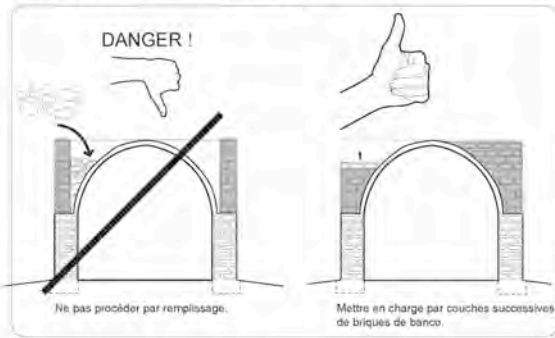
3 EXERCICES DE RECHERCHE D'AXE



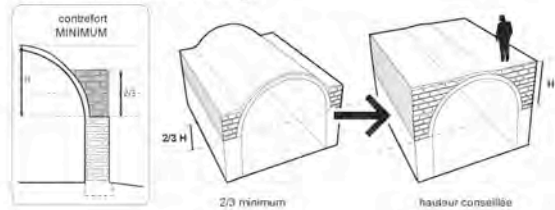
Le MF peut proposer des exercices de recherche d'axe entre deux piquets pour une pose du câble plus efficace.

Fig. 6. Formation Soutenue : exemple de fiche pédagogique

09 CHARGEMENT DE LA VOÛTE



Hauteur de la mise en charge



- Il est conseillé d'avoir une toiture la plus plate possible. L'eau s'écoule plus lentement, et la toiture est donc plus résistante à l'érosion.
- Il est aussi possible de n'avoir que 2/3 de la hauteur de la VN. Mais dans ce cas l'entretien sera plus important.
- Il est aussi possible d'augmenter la hauteur du contrefort plusieurs années après la fin du chantier.

Livre Technique VN, Edition n° 4, 2013

37

Fig. 7. Extrait du « Manuel du Maçon Nubien »

Ce Manuel qui fait l'objet de régulières mises à jour joue un rôle pédagogique central en référencant et rendant accessible à un large public la plupart des règles professionnelles VN.

Au delà de l'apprentissage spécifique des techniques VN, de tels supports techniques contribuent à la création d'une offre formative adaptée à des populations dont les niveaux d'alphabétisation et d'accès aux formations classiques restent très faibles. En effet, par le développement de ces supports d'apprentissage, AVN promeut un mode de formation professionnelle in-situ particulièrement adapté aux réalités locales, et de façon particulièrement intéressante, au secteur du bâtiment.

Par ailleurs, force est de constater que la diversification et l'institutionnalisation du marché font émerger un besoin de nouvelles expertises techniques. C'est à ce titre qu'AVN s'attèle depuis plusieurs années à la production d'études et supports techniques venant compléter le Manuel du Maçon Nubien et renforcer le « Corpus Technique VN » :

- Fiches détaillées décrivant un certain nombre d'options techniques, permettant notamment de limiter le phénomène d'érosion des bâtiments en terre crue et les besoins d'entretien : enduits extérieurs / acrotères / pieds de murs ;
- Études d'ingénierie (structure, cycle de vie et impact environnemental, hygrothermie, performance énergétique, etc.) permettant de renforcer les démonstrations empiriques et statistiques obtenues au cours des 16 dernières années et de nourrir un processus de reconnaissance des règles professionnelles VN ;

- Études architecturales par grandes typologies de bâtiments (logement, éducation, santé, agriculture, etc.) et secteurs (privé, public) ;
- Etc.

Ces nouveaux supports techniques ne doivent pas faire perdre de vue le principe précédemment exposé, la simplicité pédagogique restant ici pleinement de mise...

3. L'ÉMERGENCE D'UNE « FILIÈRE » : REGARD SUR LES MÉTIERS ET LES DÉFIS INSTITUTIONNELS

Les populations rurales d'Afrique Sahélienne forment depuis plus de 16 ans le « cœur de cible » d'AVN.



Fig. 8. Habitat VN rural / Village de Lele, Cercle de Koutiala, Mali

Toutefois, le concept technique Voûte Nubienne intéresse également, et de plus en plus, d'autres typologies de clientèles (privés urbains, institutions locales et nationales, bailleurs sociaux, ONG, investisseurs privés, etc.), chacune y trouvant un intérêt potentiel: compétitivité, réponse pertinente à certaines contraintes urbaines, chantiers à Haute Intensité de Main d'Œuvre (HIMO), formation professionnelle, matériaux locaux, adaptation au changement climatique, renforcement des économies locales, etc.



Fig. 9 Bâtiment VN recevant du public / Commune de Ourossogui, Sénégal

3.1 Les acteurs de la « Filière VN » émergente : identification des besoins

La stratégie d'AVN a toujours privilégié les acteurs du plus grand nombre, qui constituent la base de la pyramide sociale. L'accompagnement du métier de maçon VN a donc été le point focal de ses activités. Toutefois, il n'est plus aujourd'hui question de ce seul métier,

mais bien d'une « Filière VN » constituée d'une pluralité de métiers : maîtrises d'ouvrages privées et publiques, architectes, ingénieurs et techniciens, entreprises bâtiments « formelles » en capacité de répondre à des appels d'offres publics, etc.

Ces nouveaux intervenants s'insèrent progressivement dans les activités d'AVN, au niveau des opérations, depuis leur conception jusqu'à leur réception. L'enchâssement de ces métiers se trouve actuellement à un niveau d'apprentissage et d'expérimentation. Qu'ils s'inscrivent dans les économies formelles ou informelles, il va de soi que les acteurs de la « Filière VN » ont un besoin fort d'accompagnement et de renforcement de leurs capacités. Dans cette optique, AVN et ses partenaires proposent ou sont en voie de proposer des méthodes et/ou de développer des supports pédagogiques adaptés à chacun...

Si l'on parle des « bâtisseurs » (maçons, artisans et entrepreneurs), leurs besoins portent principalement sur les aspects techniques (maîtrise des « Règles Professionnelles VN »), la gestion (investissement, comptabilité, fidélisation des équipes, etc.) et le marketing (réponses à des appels d'offres, communication, démarchage, etc.).

Concernant les Maîtrises d'Ouvrages publiques, leurs besoins portent prioritairement sur les capacités de pilotage d'opérations VN (programmation, commande des études, montage des dossiers d'appel d'offres, suivi des opérations, réception des ouvrages, etc.). On ajoutera à cette catégorie les Institutions de Micro-Finance (IMF) et les banques plus classiques avec lesquelles des produits dédiés sont réfléchis à partir de la mise en place de projets pilotes.

Enfin, les Maîtres d'Œuvre (architectes, ingénieurs, techniciens) ont besoin d'être accompagnés quant à leur capacité à intégrer les « Règles Professionnelles VN », tant pour des besoins de conception architecturale que pour ceux de suivi des chantiers.

3.2 Reconnaissance institutionnelle du Concept Technique VN

L'évolution du marché VN induit de façon croissante, nous l'avons vu, la réalisation – ou des intérêts marqués pour la réalisation – de bâtiments VN « non réservés » à la cible paysanne, notamment des « Établissement Recevant du Public ».

La question de la reconnaissance institutionnelle du Concept Technique VN se pose donc aujourd'hui comme un enjeu central. En effet, face à l'utilisation massive des matériaux dits « modernes » (ciment, acier, tôle, chevron etc.), et à la difficulté de référencer et normer le matériau terre, le défi consiste à faire reconnaître et promouvoir institutionnellement le concept technique VN. Ingénierie, architecture, référentiels techniques et financiers, etc. sont autant de domaines d'expertises nécessaires et attendues devant permettre de mener des actions de plaidoyer vers les acteurs politiques nationaux et régionaux concernés, et le déploiement d'un marché VN les impliquant.

En plus de lui accorder une valeur légale, cette évolution doit consister également en une prise de conscience politique générale sur la valeur ajoutée (en terme d'environnement, de droit au logement, de santé publique, etc.) de cette approche de développement.

CONCLUSION :

En 16 années d'activités (juillet 2016), le programme « UN TOIT, UN MÉTIER, UN MARCHÉ » a permis la réalisation de plus de 2.000 chantiers dans 830 localités réparties dans 6 pays. Cela représente environ 80.000m² de surface utile de bâtiment VN, environ 2,5 millions d'euros d'économie générée uniquement sur la partie Gros-Œuvre des ouvrages et plus de 65.000 tonnes d'économie potentielle de CO₂, calculée sur une période d'utilisation de 30 ans (construction et efficacité énergétique).

Au total, on estime à plus de 25.000 le nombre de bénéficiaires directs du programme, sachant que sur les 2.000 bâtiments construits, les deux tiers sont des logements, et sur ces deux tiers plus de 750 concernent des cultivateurs (le « cœur de cible » du programme).

Ce sont par ailleurs 635 artisans-maçons actifs qui ont été formés, alors qu'environ 500 apprentis et maçons sont actuellement en formation.

Enfin, sur les 10 dernières années, le marché a enregistré une croissance moyenne annuelle du nombre de chantier de 33%, avec 450 chantiers réalisés sur la seule saison 2015-2016.

Ces résultats très positifs et certainement encourageants, nous obligent plus que jamais à relever le défi du changement d'échelle. En effet, si la croissance du marché VN continue et atteint 40%, à l'horizon 2036 ce sont plus d'un millions de chantiers qui auront été réalisés dans 145.000 localités par 200.000 artisans-maçons...

Résultats, effets et impacts (juillet 2016)		
	2016	2036*
Chantiers	2000	1,3 M
Surface bâtie (m ²)	79 000	41 M
Localités	830	145 000
Maçons actifs	635	200 000
Apprentis et maçons en formation	500	220 000
Bénéficiaires directs	25 000	11 M
CO ₂ eq. (tonnes) : économie potentielle (construction + efficacité énergétique)	65 000	34 M
Economie générée (gros oeuvre)	2,5 M€	> 80 M€
Croissance annuelle	33 %	40 %

* calculé en considérant 33% de croissance annuelle

Fig. 10. Tableau des résultats, effets et impacts en 2016 et projection à 2030

Le challenge est donc immense. À ce stade du programme, nous pensons avoir fait la démonstration par le résultat de la pertinence de nos propositions ; il faut donc maintenant en permettre le déploiement à grande échelle. Ce changement d'échelle implique de trouver les moyens de rester continuellement en alerte et en capacité de proposer, innover, inventer, tester, réorienter...

Nous pensons par ailleurs que les enjeux liés aux questions de l'Habitat adapté pour le

plus grand nombre doivent être élevés au rang de cause majeure et prioritaire au niveau mondial.

Il s'avère essentiel de reconnaître une responsabilité partagée face aux questions de changement climatique, de prendre en compte les impacts locaux considérables que vont subir les populations d'Afrique Sahélienne, et d'accepter les implications et investissements qui en découlent. Dans cette perspective, il est fondamental de rechercher les propositions techniques et pédagogiques utilisant au mieux les mains-d'œuvre, matériaux et savoir-faire locaux. Il est tout aussi essentiel d'impulser des politiques permettant leur diffusion pour le plus grand nombre.

Dans le contexte globalisé actuel, il est essentiel et légitime de placer l'Habitat en Afrique sahélienne au rang des nouveaux enjeux économiques, environnementaux, climatiques et, bien sûr, de bien-être !

BIBLIOGRAPHIE :

- AVN, Chabaud, C. et Hardy, M. - sous la Direction de Granier, T. (2013) *Manuel du Maçon Nubien_Édition n°4* (pas de maison d'édition)
- AVN (2015) *Manifeste pour une réponse adaptée et durable à la problématique de l'Habitat de qualité en Afrique Sahélienne*, <http://www.lavoutenubienne.org/fr/manifeste>
- Development Workshop France (2002) *Guide pratique – la construction sans bois* (pas de maison d'édition)
- Development Workshop France (2003) *La construction sans bois : document de référence – Principes de structure & règles de base* (pas de maison d'édition)
- Fathy, H. (1999) *Construire avec le peuple: Histoire d'un village d'Egypte : Gournah, Sète, Actes Sud/Bibliothèque arabe*, 5^e éd., 213 p

NOTICE BIOGRAPHIQUE :

Thomas GRANIER : Thomas Granier, artisan maçon, introduit au Burkina Faso en 1998 une version simplifiée et codifiée de la voûte nubienne antique et la pose en alternative aux bâtiments couverts de bois ou de tôle en Afrique. Il dirige AVN qui, fondée en 2000, assure la diffusion populaire de cette technique dans le marché de la construction.

Mathieu HARDY : Architecte, intervenant depuis 19 ans en Afrique Sahélienne, Mathieu HARDY a collaboré avec les deux principales organisations de promotion d'architectures en adobes recourant aux toitures à compression montées sans coffrage au Sahel : Development Workshop et AVN. Il est actuellement chargé de mission "Filière VN" pour AVN.

Bruno JARNO : Ingénieur INSA, diplômé du département Energie et Environnement en 2006, Bruno JARNO travaille à l'évaluation environnementale de bâtiments adaptés au changement climatique en Europe et en Afrique de l'ouest (bilan carbone, performance énergétique, matériaux biosourcés). Il est également gérant d'une entreprise spécialisée dans les systèmes d'informations de suivi-évaluation.

Antoine HORELLOU : Antoine Horellou a fondé BOPS - Base of the Pyramid Solutions - dans le but de concevoir et booster des innovations sociales territoriales pour les populations au « bas de la pyramide des revenus ». Il a travaillé pour plusieurs start-up sociales comme Ashoka, Association la Voûte Nubienne, 450, LAGAZEL.



Architectures et constructions en terre en Arménie

Suzanne MONNOT

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAÏ, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

Résumé :

L'Arménie dispose d'un patrimoine architectura en terre dont l'avenir est menacé en cette période *post-soviétique*. C'est aussi un des pays où ces constructions sont peu connues. Pourtant, les fouilles archéologiques confirment la présence d'un patrimoine monumental remarquable en adobes et il est encore possible de déceler des habitats en terre révélant des principes de construction méritant des études.

Avec le constat que les cultures constructives disparaissent rapidement en Arménie, contrairement à d'autres pays où la revalorisation des matériaux premiers se développe, notre recherche pose la question suivante : comment, par quel biais revaloriser, actualiser ce matériau ancestral?

L'hypothèse articule patrimoine archéologique et habitat en terre : conserver/valoriser le patrimoine archéologique monumental en supposant qu'il modifiera l'attention accordée à l'habitat vernaculaire avec l'objectif de renouveler regard et pratiques vis-à-vis de l'héritage en terre et de réactiver des savoir-faire en ouvrant des possibilités originales de constructions contemporaines.

INTRODUCTION ET CONTEXTE:

Entre Occident et Orient, Europe et Asie, la position stratégique de l'Arménie au travers de routes commerciales convergentes (soie) en a fait un carrefour pour marchands et envahisseurs depuis les temps les plus reculés (Dédéyan, 2008). De fait, elle est un pays d'échanges, riche culturellement, un « enjeu passé et présent aux confins de trois empires » (Mouradian, 2013) (perse, russe, turc). Son passé construit, ses églises en pierre aux formes caractéristiques témoignent de ses origines lointaines.

Ce territoire possède aussi un riche héritage de constructions en terre; paradoxalement c'est un des pays où ces constructions sont mal connues, non répertoriés encore dans l'atlas de l'inventaire international de l'UNESCO. Les recherches en Arménie valorisent les patrimoines monumentaux en pierre ; celui en terre -resté dans l'oubli- va disparaître rapidement, faute d'attention.

C'est d'autant plus dommage dans ce pays en cette période *post-soviétique* où les enjeux patrimoniaux (Veschambre, 2015) font l'actualité et où les moyens économiques demeurent limités. Au moment où en Occident, le matériau terre reprend vie, répondant aux nécessités écologiques, les savoir-faire constructifs de l'Arménie sont une ressource à valoriser pour l'architecture contemporaine avec le levier du tourisme (Lefort, 2011) en particulier.

1 – PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET OBJECTIFS

1.1 Problématique :

Il y a donc un passé important de constructions monumentales révélées par les fouilles archéologiques en Arménie ainsi que des vestiges d'habitats populaires. C'est une caractéristique du sud Caucase avec une présence de la terre dans cette région (Iran, l'Irak, Syrie, Tadjikistan)¹. Mais ce matériau est ignoré dans la société arménienne à tous

¹ cf. publications de CRAterre.

les niveaux : populaire, universitaire, politique. Cet héritage architectural, de savoir-faire constructif est en train de disparaître faute d'entretien dans l'indifférence généralisée ; il constitue pourtant une richesse et mérite des études pour conserver au moins quelques spécimens.

Soulignons que le terme « patrimoine » -spécifiquement français- n'existe pas en arménien ; il est traduit par « héritage » ou par « monument ». Ce décalage de concept fait prendre conscience d'un « *impensé* » dans la culture arménienne : à quoi accorde-t-on de la valeur et pourquoi ?

Les questions de recherche peuvent donc se formuler ainsi : à quelles conditions les constructions et architectures en terre pourraient être revalorisées en Arménie ? Par quels biais est-il possible d'initier un processus de transformation du regard porté sur ce matériau, encore associé injustement à la pauvreté ?

Quelles stratégies permettront de déployer des possibilités renouvelées pour les constructions contemporaines ?

Connaissant l'attitude *pragmatique* des orientaux, pour répondre concrètement à ces questions et infléchir durablement cet état des lieux nous proposons de conjuguer différentes *actions* pour faire prendre conscience que ces *héritages* – monuments archéologiques, habitats vernaculaires – peuvent devenir *patrimoine*, autant que celui en pierre, qu'il pourrait être conservé, valorisé – créant ainsi des dynamiques locales originales.

1.2 - Hypothèses et objectifs:

Pour transformer les préjugés envers ce matériau plurimillénaire nous proposons d'articuler monuments archéologiques (reconnus et valorisés) avec habitat vernaculaire. Nous supposons qu'en revalorisant le patrimoine archéologique en terre – Erébouni par exemple - le regard sur le matériau terre évoluera et renouvèlera les pratiques, ouvrant des possibilités originales d'architectures contemporaines écologiques, économiques pour un cadre bâti en harmonie avec les ressources de son territoire.

Nous faisons aussi l'hypothèse qu'en développant la connaissance du matériau terre en Arménie nous pourrions :

- mettre en place des actions pour renforcer la conservation des vestiges afin que cette part de la culture constructive et architecturale historique ne disparaisse définitivement.
- apporter des arguments pour convaincre qu'il fait partie des richesses et traditions constructives arméniennes. Qu'il mérite des études pour en comprendre les spécificités et permettre ainsi de réinvestir son potentiel d'expression pour des usages adaptés au monde actuel. Que ces architectures *situées* représentent des solutions issues d'un territoire, d'un climat, d'une culture, bref d'un *milieu*, que leur connaissance est à se réapproprier.
- démontrer le potentiel des sites archéologiques d'Arménie pour le développement des territoires associant *patrimoine* et *tourisme*.
- montrer son universalité et rassurer : il n'y a pas de risque de perte de culture à en reconnaître l'existence,
- fournir à terme une contribution à l'inventaire et à l'atlas des architectures de terre de l'UNESCO en comblant le vide de savoirs sur l'Arménie.

1.3 - Méthodologie :

- d'abord constituer une bibliographie avec cinq langues (arménien, russe, français, anglais, italien²).
- revisiter ce patrimoine d'architectures de terre d'Arménie pour en dégager quelques-unes de ses caractéristiques.
- Proposer d'analyser ce patrimoine au prisme d'une grille multicritères -environnement, social et économie-(Versus, 2014) qui intègre les orientations et stratégies du développement durable.

Cette analyse multicritères permettrait d'éclairer de nouveaux choix de société pour la production de l'habitat local qui serait à même de mieux valoriser l'utilisation des ressources cognitives (savoirs) et pragmatiques (savoir-faire) des territoires. Cela contribuera aussi, dans un monde en globalisation (banalisation et « trans culturalité » du bâti) à régénérer une identité culturelle dans le paysage du cadre bâti du pays.

2 – PATRIMOINE ARCHEOLOGIQUE EN TERRE EN ARMENIE :

2.1 –Patrimoine mal conservé; peu valorisé!

Les fouilles archéologiques révèlent aussi bien des formes d'habitats modestes que des réalisations monumentales en terre crue ; ceci s'avère aussi dans les régions voisines de l'Arménie : en Irak, Iran, Syrie, Turquie (Monnot, 2017).

En Arménie même, les travaux de S. Deschamps, ont confirmé la présence d'un patrimoine monumental remarquable -en briques de terre crue - datant de la période ourartéenne (VIIIème s. avant J-C) dont des édifices cultuels, palais et habitations.



Fig. 1 : «Ourartou comparé avec les États actuels» en 2008-frpar © Sémhur / Wikimedia Commons.

² Cf. depuis 1968 la collection *Documenti di Architettura Armena*, Politecnico di Milano, n°20 Sorhul et n°23 Vagharshapat, éd.OEMME, Venise, 1988 et 1998.

Sur le site d'Erébouni, la citadelle occupait une superficie de plus de cent hectares. Les annales du roi Arguichti Ier datent la fondation de 782 avant J-C, 30 ans avant celle de Rome (Hasratian, 2010). Toutes les constructions de la citadelle ont pour soubassement des grosses pierres (basalte, tuf) sur 2/3 mètres de hauteur mais étaient constituées - jusqu'à 12 à 15 mètres de hauteur - de briques crues.

La présence de ce matériau est aussi attestée sur les autres sites archéologiques d'Erévan : Theychébaini et Chengavit (3200 à 2500 avant JC) (Simonian, 2013).

D'autres cités ourartéennes ayant fait l'objet de fouilles (Piotrovsky, 1970) montrent la présence de murs épais (jusqu'à 3m) en briques de terre crue, notamment celles de :

- Van /Toushpa capitale de l'Ourartou (De Khorene, 1993),
- Armavir / Arguichtihinili centre administratif des provinces de l'Ourartou devenue une des douze capitales de l'Arménie, Armavir (Donabedian et al. 2010).

Or, depuis les années 1960 (Charte de Venise, 1964, puis 1972, en Iran, Charte d'ICOMOS en 1990) les archéologues soulignent la nécessité d'améliorer les techniques de conservation pour sauvegarder ce patrimoine et le valoriser. Les directeurs de l'Institut d'Archéologie et d'Ethnographie et du musée archéologique d'Erébouni sont demandeurs de partenariats.

Ces recommandations convergent avec les politiques de l'Arménie : considérer le patrimoine archéologique en terre comme levier de développement local (tourisme culturel notamment).

2.2 -Diversité des procédés d'utilisations de ce matériau:

En plus des vestiges archéologiques, on observe une variété de techniques répondant aux nécessités locales -en lien avec les ressources humaines et matériaux disponibles. Les premières enquêtes sur le terrain ont permis un aperçu de la richesse des solutions constructives valorisant l'emploi de la terre crue :

- murs d'enceintes en bauge et/ou adobes, en blocs mélangés à des végétaux spécifiques du lieu ;



Fig. 2 : XIXe s. enceinte en adobes de la Cathédrale d'Etchmiadzine (archives Musée Histoire de l'Arménie)

- systèmes mixtes associant terre et pierres (tufs ou basaltes) pour constituer des murs composés (technique du « *midiss*»);
- cloisons en bois hourdées de briques crues ou cuites ou galandages;
- mais aussi : enduits en terre sur divers supports (pierres, bois, briques).

Il y a donc plusieurs types de constructions en terre en Arménie à différentes échelles: l'habitat vernaculaire ayant existé en parallèle avec l'architecture savante, un rapide inventaire permet de repérer :

- des maisons troglodytes creusées dans la terre ou roche (monastère de Guéghart, ville de Goris),
- des auto-constructions rurales en adobe ou dans les banlieues d'Erévan
- des types plus architecturés en milieux urbains : à Erévan (Melkoumian, 2007) à Etchmiadzine.



Fig. 3 : maison en adobes, centre d'Erévan (façade sur rue en pierres) photo S. Monnot, 2014.

Cette recherche propose d'amorcer la constitution d'un corpus des architectures en terre crue, tant monumentales que vernaculaires mais également des cultures constructives associées.



Fig. 4 : Enceinte en terre de l'église Sainte Hripsimé (VIIème s) et auto construction (à gauche).

3- HERITAGESVERNACULAIRE AUTO-CONSTRUIT:

3.1- Renaissance d'habitats vernaculaires en terre au XXe siècle suite aux bouleversements:

A l'autre bout de la chaîne historique, le matériau terre est toujours présent en Arménie mais avec une évolution récente paradoxale.

Le génocide de 1915, l'intégration de l'Arménie à l'URSS et son processus d'industrialisation brutale, la chute du système soviétique et l'indépendance depuis 1990ouvrant -dans ce contexte chaotique- à la concurrence internationale, malgré une situation de blocus et enclavement géographique, a fini de semer la confusion dans le pays (Ter-Minassian, 2007). Les destructions d'une partie des constructions au nord-ouest de l'Arménie suite au séisme de 1988 aggravées par les conséquences de la guerre du Haut-Karabagh(1988-94) et des pogroms azéris (1990-93)ont mis le pays en face de situations d'urgences difficiles à gérer. Ce contexte a généré deux tendances inverses :

- le matériau terre réapparaît : l'Arménie a d'abord subi une immigration massive après le génocide de 1915. Cette arrivée imprévue de rescapés a mis ces populations immigrées en situation de « se débrouiller », le pays n'étant pas en mesure de les loger. Les réfugiés ont importé leurs savoir-faire d'Arménie historique (Anatolie, Cilicie actuelle) (Haroutounian, 2009). Ces mouvements de populations ont été accentués par les politiques de rapatriements d'arméniens de diaspora vers l'Arménie soviétique jusqu'en 1947.
- simultanément, l'URSS privilégiant l'industrialisation a freiné le développement des savoir-faire locaux - le « génie constructif » - au profit de la standardisation et préfabrication suivant les CIAM et l'Architecture Internationale. Cet élan optimiste tendant vers une société idéale - de progrès - faisait table rase des héritages vernaculaires.

3.2 Etat des lieux complexe:

Dans ce contexte - théâtre de nombreuses invasions et destructions-les caractéristiques des constructions en terre sont complexes, issues de cultures constructives transmises à travers les générations successives, s'appuyant sur les matériaux locaux disponibles (Garnier et al. 2009). Fait exceptionnel en Arménie, ces cultures ont été *réactivées* au 20^{ème} siècle par les réfugiés et rapatriés. Les techniques de mise en œuvre de la diaspora sont donc mélangées aux savoir-faire locaux.



Fig. 5 : Maison en adobes, banlieue d'Erévan (Nor Arabkir) photo S.Monnot, 2013.

- Dans les années 1950 à 1980 des recherches ont été menées sur les architectures populaires. Bien que ces travaux ne ciblent pas les constructions en terre, ils soulignent leur intérêt pour l'intelligence des solutions élaborées.

Leurs formes et matériaux sont en adéquation avec les usages et valeurs liés à la famille de l'époque, en cohérence avec les matériaux locaux et le climat (Vardanian, 1959). Cette adaptation de l'habitant à son milieu est liée à ses capacités à bénéficier des ressources naturelles mais aussi aux aléas socio-économiques; pour la culture arménienne - au carrefour de différentes influences et convoitises - les « aléas humains » (conflits, mouvements spatiaux et évolutions territoriales) sont aussi prégnants que les aléas naturels (séismes). L'exemple des constructions semi enterrées à flanc des montagnes témoignent de la nécessité de se protéger de l'ennemi en s'enterrant. Dans certains villages, les maisons communiquaient entre elles en hiver par des tunnels creusés dans la montagne; en été, par les toitures terrasses.

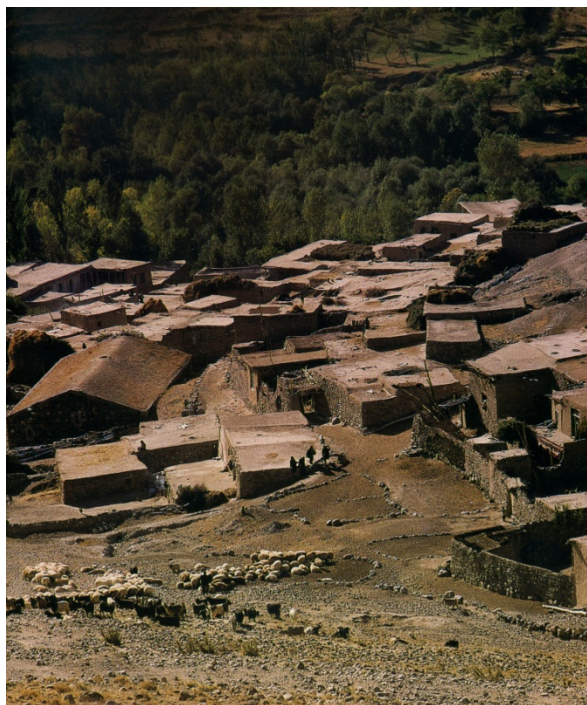


Fig.6 : village Muzhumbar Eglise Ste Hripsimé, XVIIème s. (actuel Iran) Sorhul n°20

Ces cultures locales et l'intelligence des "solutions élaborées sont vouées à l'oubli car elles sont fréquemment supplantées par les matériaux, technologies, savoir-faire exogènes" (Ferrigni, 2005). Les médias imposent des modèles -encouragés par une globalisation - uniformisant les espaces construits et accélérant la mort des cultures originales.

- Dès 1991, en passant du communisme strict à l'économie de marché, l'écart entre les constructions vernaculaires et logique industrielle de marché international n'ont fait que se renforcer. Pour l'opinion courante le qualificatif « *d'importation* » reste synonyme de « *qualité* » ! « Mais une technique importée est généralement basée sur des produits industriels permettant un entretien difficile et dont la production accélère la détérioration environnementale » (Caimi, 2010) De plus, leur utilisation augmente la dépendance de la communauté locale envers les fournisseurs externes.



Fig. 7 : centre historique d'Erévan en cours de démolition, photo S.Monnot, 2014.

A Erévan, le centre ancien constitué de maisons en adobes est démoli: l'architecte en chef préférant *assainir* ces quartiers jugés insalubres, les décideurs privilégiant l'ingénierie moderne. La situation actuelle de crise oblige la population à faire coexister matériaux traditionnels et résidus industriels polluants (fibrociment, ferrailles...) qui défigurent les paysages. Les investisseurs construisent au mépris des échelles et proportions existantes, avec objectif de rentabilité à court terme empêchant les solutions traditionnelles. Cette perte de culture remplacée par de nouvelles formes de construction est un véritable danger pour l'environnement naturel et social.



Fig.8 : Centre historique d'Erévan, démolition et reconstruction, photo S.Monnot, 2014.

Sur fond de ce diagnostic sur la question du patrimoine architectural en terre crue d'Arménie, face aux nouveaux enjeux de mise en œuvre plus concrète du paradigme de développement durable dans ses trois dimensions (environnement, social et économique), auxquelles nous ajoutons la dimension de la culture³ dans le domaine de la construction du cadre de vie bâti actuel, face aussi à une situation économique difficile du pays, une recherche de nouvelles solutions s'impose.

³ Notamment en référence à la préservation de la diversité culturelle que soutient l'UNESCO

4 –ACTIONS SUR LES ARCHITECTURES DE TERRE D’ARMENIE

Nous avons initié des actions dans ce domaine des architectures de terre d’Arménie à plusieurs égards. En échangeant avec l’UNACA (Université Nationale d’Architecture et Construction d’Arménie), on remarque le peu d’enseignements valorisant les architectures vernaculaires et l’absence de formation sur le matériau terre. Nous avons souligné le manque de publications sur ce matériau et aucune valorisation de ses usages patents. Les architectes arméniens parlent fièrement des patrimoines archéologiques datant de plus de 6000 ans : Medzamor, Shengavit puis de la période ourartéenne (IXe s. avant J.C) sans prendre conscience que l’essentiel est construit en briques de terre crue !



Fig. 9 : Fouilles sur Site Shengavit, 2013, photo G.Gurdjian.

Les premières stratégies pour mobiliser autour des architectures de terre en Arménie sont:

- début d’inventaire, repérages cartographiés avec des universitaires: prélèvements d’échantillons d’adobes, analyses des composants à l’Académie des Sciences.
- sensibiliser avec des formations de formateurs(UNACA) avec pédagogies innovantes⁴ pour intégrer la connaissance des architectures de terre dans les programmes universitaires :

A- Dès 2011 nous avons accueilli des collègues en post-doctorat à l’ENSAL en leur présentant les constructions écologiques aux Grands Ateliers.

B- Mai 2014, nous avons poursuivi ces actions (sensibilisation, formations), avec CRAterre : des responsables d’institutions d’Arménie⁵ ont participé au séminaire international «Conservation des architectures de terre» pour la valorisation des sites archéologiques.

⁴ cf. Amàco

⁵ - Gagouk Gurdjian président d’ICOMOS Arménie, conservateur des 3 sites archéologiques d’Erévan
- Hasmik Azizian historienne
- Hakob Simonian archéologue, Ministère de la Culture.



Fig. 10 : site Ourartou, Karmir Blour, archives Boris Piotrovsky (1939-1971).

Lors des échanges ils ont mesuré l'importance de la protection des sites en terre, la richesse des expériences internationales de l'Europe aux USA, en Iran, Afghanistan... Ce séminaire -avec l'ICCROM- a permis de proposer pour l'Arménie le projet de centre de formations internationales du Sud Caucase car elle pourrait rassembler aussi bien la Russie que la Géorgie, l'Iran et la Turquie...

C- Octobre 2015 le colloque « Patrimoines en terre : matériau pour le développement des territoires d'Arménie » (Monnot, 2017)⁶ co-organisé en Arménie par l'UNACA et l'ENSAL⁷ a permis à un large public arménien -dont des responsables politiques et décideurs- d'entendre les meilleurs experts sur ces thèmes : Patrimoine et matériaux durables, conservation, valorisation, tourisme et développement des territoires.

Ce travail a donc déjà permis de :

- tisser des relations entre enseignement, recherche et acteurs politiques;
- réunir/former des responsables du patrimoine en terre de divers pays (français, arméniens, italiens) : Erevan en 2015, Terra 2016 à Lyon, Erébouni en juin 2016.

CONCLUSION : PROJETS EN PERSPECTIVES ET OUVERTURES.

En plus des objectifs précédents -et outre fournir une contribution à l'inventaire et atlas des architectures de terre au niveau international, en comblant le vide de savoirs sur le contexte de l'Arménie -les ouvertures ménagées par la recherche serviront à :

1 - constituer des corpus et caractériser les spécificités locales: contribuer ainsi à la valorisation (à terme) de ce patrimoine et des qualités écologique/économique de ce matériau plurimillénaire.

⁶Publication des actes du Colloque, éditions PUSE,2017.

⁷ En partenariat avec Politecnico di Milano, amàco, CRAterre,l'Ambassade de France en Arménie.

Par ailleurs l'implication de la diaspora en Arménie et donc des coopérations avec leur pays d'accueil est un atout; son soutien pouvant infléchir le regard local.

2 - éveiller l'intérêt et partager les résultats des recherches avec des dispositifs pédagogiques avec l'UNACA pour :

- permettre une prise en charge des processus de patrimonialisation
- renouveler les pratiques des architectes pour des habitats contemporains en terre.

3 - Poursuivre les partenariats avec les responsables des sites archéologiques d'Erévan et valoriser pour protéger ces patrimoines et transformer le regard. En effet pour les 2800 ans de la fondation d'Erevan en 2018, nous avons - avec CRAterre - un projet de mise en valeur du site archéologique.

4 - Encourager la reprise des constructions en terre avec des propositions d'expérimentations sur des communes et reconsidérer ainsi la valeur des pratiques traditionnelles pour le développement durable des territoires en Arménie et contribuer à infléchir son développement touristique vers le respect de son patrimoine vernaculaire en « béton d'argile ».

BIBLIOGRAPHIE :

Alpago-Novello, A. (1988). Sorhul n°20, collection Documenti di Architettura Armena, OEMME, Venise.

Anger, R. et Fontaine, L. (2009). *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Belin, Paris.

Bleton-Ruget A., Commerçon N. et Lefort Isabelle (2011). *Tourismes et territoires*. Institut de Recherche du Val de Saône-Mâconnais.

Caimi, A. (2014). *Cultures constructives et vernaculaires et résilience*, thèse laboratoire CRAterre, ENSAG.

Collectif (2014). *Versus, leçons du patrimoine vernaculaire pour une architecture durable*, CRAterre, Grenoble.

Dédeyan, G. (2008). *Histoire du peuple Arménien*, Privat, Toulouse.

De Khorène, M. (1993). *Histoire de l'Arménie*, Livre I, 16 ; trad. Langlois-Mahé.

Deschamps, S. et Piliposian, et A. Ter-Martirossov, F. (2006 à 2016) *Rapports de fouilles*, Institut d'Archéologie et d'Ethnographie de l'Académie des sciences d'Arménie.

Donabedian, P. et al. (2010). *Les douze capitales d'Arménie* Somogy,

Haroutounian, E. (2009). *L'écriture permanente de l'architecture arménienne*, Moughni, Erévan, en arménien.

Hasratian, M. (2010). *Histoire de l'architecture arménienne des origines à nos jours*, Sources d'Arménie,

Ferrigni, F. et al. (2005). *Ancient Buildings and Earthquakes*, Edipuglia, Bari.

Gandreau, D. (2012). *Patrimoines archéologiques en terre et développement local*. Sujet de thèse. Laboratoire CRAterre.

Garnier, Ph. Moles, O. et al. (2009). *Aléas naturels, catastrophes et développement local*, CRAterre, Grenoble.

- Guillaud, H. et Houben, H. (2006). *Traité de construction en terre*, Parenthèses, Marseille.
- Matevossian, S. (1985). *L'architecture des maisons populaires de Gumri*, Sovetakan Gror, Erévan, arménien.
- Melkounian, R. (2007). *L'architecture des habitations traditionnelles du vieil Erévan*, Houchardzan, Erévan, arménien.
- Monnot S. *Patrimoines en terre et développement des territoires*, PUSE, (parution en 2017)
- Mouradian, C. (2013). *L'Arménie*, PUF, Paris.
- Papoukhian, N. (1972). *L'architecture des maisons populaires du Siounik*, Académia, Erévan, arménien.
- Piotrovsky, B. (1970). *Ourartou*, collection Archaéologia mundi, Nadel, Paris.
- Zarian, A et Zarian, A et Ter Minassian, A. (1998). *Vagharshapat No.23*, collection Documenti di Architettura Armena, OEMME, Venise.
- Simonian, H. (2013). *Hushardzann°8in « Scientific research Center of Historical and Cultural Heritage »*, Yérévan.
- Ter-Minassian, T. (2007). *Erévan, la construction d'une capitale à l'époque soviétique*, PUR, Rennes.
- Vardanian, S. (1959). *L'architecture des maisons populaires arméniennes*, Erévan, arménien.
- Veschambre, V., (2015). *La fabrique urbaine des patrimoines : nouvelles formes, nouveaux enjeux ?* Métropolitiques, URL : <http://www.metropolitiques.eu/La-fabrique-urbaine-des.html>

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Suzanne MONNOT

Architecte DPLG, D.E.A. de philosophie, 3^{ème} cycle d'Architecture. Enseignante titulaire en Sciences et Techniques pour l'Architecture à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon (ENSAL), chercheur au Laboratoire EVS-LAURE-UMR-CNRS 5600, en 3^{ème} année de thèse de doctorat sous la direction V. Veschambre et H.Guillaud. Thèse en cotutelle internationale avec l'UNACA (Université Nationale d'Architecture et Construction d'Arménie) sous la direction de G.Galstyan. Développe dans le cadre de ses recherches- des partenariats avec l'Arménie, en lien avec CRAterre.



Correlación de NDT versus resistencia a compresión en tapia

Belén GONZÁLES, Antonia NAVARRO, Lidia RINCÓN

Article disponible dans les actes du colloque Terra 2016:

JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, *Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea*. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-12-4.

RESUMEN

En España se ha abandonado el uso de la tierra como material de construcción debido a las connotaciones asociadas a la pobreza y a la carencia de normativa reguladora. Sin embargo, el amplio patrimonio construido en tierra requiere de los avances en investigación para su conservación, rehabilitación y uso en obra nueva. Debido al vacío tanto en normativa como en literatura sobre cómo determinar el comportamiento mecánico de los muros de tapia existentes, la presente investigación plantea como objetivo final una metodología para determinar la resistencia a compresión de muros de tapia mediante la realización de ensayos no destructivos. A tal efecto, y análogamente al hormigón, se propone la utilización de la correlación entre la densidad aparente, la humedad real, la resistencia a compresión y el ensayo de rebote de impacto, determinados en laboratorio. Este artículo presenta los ensayos no destructivos y destructivos llevados a cabo y se centra en los logros y errores encontrados durante el desarrollo de los mismos, experiencia que puede ser de gran utilidad al resto de investigadores del mismo campo para evitar posibles problemáticas comunes.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción con tapia está regulada en los códigos de edificación de diversos países en los que todavía se utiliza en edificación de obra nueva (Bestraten et al. 2011). Sin embargo, en España la construcción con tapia no se incluye en la normativa actual, dificultando su recuperación para obra nueva (Delgado et al. 2006). Por otro lado, en el territorio español se encuentra un rico patrimonio arquitectónico construido con tierra y más concretamente con tapia (Mileto et al. 2014, Maldonado et al. 2011). Muchos de estos edificios requieren, para su conservación, la rehabilitación de sus espacios y la restauración de los muros de tapia. En los proyectos de rehabilitación de muros de tapia con función estructural, es necesario conocer la resistencia a compresión para poder calcular las nuevas estructuras (Bestraten et al. 2012, Miccoli et al. 2014). Así mismo, debido a la limitación normativa del diseño estructural en edificios de tierra, los estructuristas se ven obligados a utilizar la normativa desarrollada para construcciones de obra de fábrica (Maniatidis et al. 2008, Tripura et al. 2015a).

La resistencia a compresión de la tapia depende de la distribución del tamaño del grano de la tierra, del contenido de humedad, la compactación, el contenido en fibras y la cantidad de aditivos (Miccoli et al. 2014). Además, estos factores determinan la densidad aparente y la porosidad de la tapia. Por otro lado, investigaciones previas relacionan el grado de humedad y la densidad con la resistencia a compresión de muros de tapia, estableciendo en un 4% el grado máximo de contenido de humedad para suelos arcillosos y arenosos (Bui et al. 2014, Tripura et al. 2015b).

2. OBJETIVOS

Debido al vacío tanto en normativa como en literatura sobre cómo determinar el comportamiento mecánico de los muros de tapia existentes, la presente investigación plantea como objetivo final una metodología para determinar la resistencia a compresión de muros de tapia mediante la realización de ensayos no destructivos. A tal efecto, y análogamente al hormigón, se propone la utilización de la correlación entre la densidad aparente, la humedad real, la resistencia a compresión y el ensayo de rebote de impacto, determinados en laboratorio. Este artículo presenta los ensayos no destructivos y

destruictivos llevados a cabo y se centra en los logros y errores encontrados durante el desarrollo de los mismos, experiencia que puede ser de gran utilidad al resto de investigadores del mismo campo para evitar posibles problemáticas comunes.

La literatura sobre la correlación entre ensayos no destructivos y la resistencia a compresión de la tapia es sumamente escasa. Numerosos autores hacen patente la carencia de métodos estandarizados para ensayar la tapia, necesarios para evaluar el estado de conservación del patrimonio arquitectónico en tierra, y hacen especial hincapié en que aún no se haya iniciado ninguna investigación para su estimación in situ (Guo et al. 2013, Lombillo et al. 2014).

A pesar de que la literatura de los últimos 20 años hace referencia a la utilización del ensayo de índice de rebote de impacto, no es hasta la actualidad que Guo et al. (Guo et al. 2013) han publicado en congreso sus investigaciones correlacionando el índice de rebote de impacto y las propiedades mecánicas del material tapia. Lombillo (Lombillo et al. 2014) estudió algunos métodos destructivos menores para entender la solidez estructural de los edificios de tapia: “flat jack”, taladro perforador y mini-presiómetro. El artículo concluye que la estimación de los esfuerzos a los que es sometida la tapia se puede llevar a cabo mediante la técnica flat-jack y el test del taladro perforador, a pesar de que esta última técnica presenta dificultades en la desviación de datos asociados a la dispersión de áridos de gran tamaño en el muro de tapia. El artículo también concluye que los resultados obtenidos mediante el doble ensayo “falt-jack” y mini-presiómetro fueron congruentes, obteniendo valores de resistencia a compresión sobre los 3,5MPa. Lombillo aporta un listado de las técnicas de diagnóstico destructivas menores que pueden ser utilizadas para la estimación in situ de los materiales de tierra, pero no hace referencia a correlación entre el índice de rebote de impacto y la resistencia a compresión.

3. METODOLOGÍA

3.1. Caracterización física del material

Se ha caracterizado la mezcla de tierra a utilizar mediante los siguientes ensayos normalizados de suelos:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (UNE 103-101:1995).
- Determinación del límite líquido de un suelo, método del aparato de Casagrande (UNE 103-103:1994).
- Determinación del límite plástico de un suelo (UNE 103-104:1993).
- Determinación del contenido de sales solubles de un suelo (UNE 103-205:2006).
- Determinación del contenido de materia orgánica oxidable (UNE 102-204:1993).
- Caracterización de la fracción de tamaño arcilla mediante la difracción de rayos X.

3.2. Caracterización del comportamiento mecánico

Para poder analizar el comportamiento mecánico del sistema constructivo en tapia, se parte de la determinación de la compactación óptima en relación al contenido de humedad, mediante el ensayo proctor normal (UNE 103-500:1994). En un inicio, se confeccionan probetas cilíndricas y posteriormente prismáticas, de las cuales se determina:

- La humedad real, tras un tiempo de curado, según norma UNE 103-300:1993.

- La densidad aparente mediante el cálculo volumétrico y el peso.
- El módulo de elasticidad (MOE) en la dirección longitudinal mediante la velocidad de propagación de ultrasonidos.
- La resistencia indirecta a compresión mediante el índice de rebote de impacto (IR).
- La resistencia a compresión, según norma UNE EN 772-1:2011.

4. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS Y RESULTADOS

4.1. Fase 1: Caracterización del material

Después de realizar los ensayos normalizados de clasificación de suelos, y de acuerdo con la clasificación unificada de Casagrande, la tierra utilizada es una arcilla de mediana plasticidad (CL), con un contenido de finos del 28% (limos y arcillas). Esta tierra tiene un contenido de sales solubles de 0'04%, y un contenido de materia orgánica de un 1'5%. La composición tipológica de las arcillas se compone de moscovita y clinocloro principalmente, que son arcillas de baja plasticidad, aunque también hay cuarzo, anortoclasa (feldespato sódico-potásico), calcita y dolomita que corresponden a partículas de tamaño arcilla.

4.2. Fase 2: Proctor normal

La densidad óptima de un suelo depende tanto del grado de humedad como de la energía de compactación. Para este estudio se decide partir del ensayo proctor normal debido a que la energía de compactación empleada es asimilable a la utilizada en la construcción de una tapia compactada manualmente. La densidad seca máxima es de 2'23 g/cm³ y la humedad del 7% (Fig. 1).

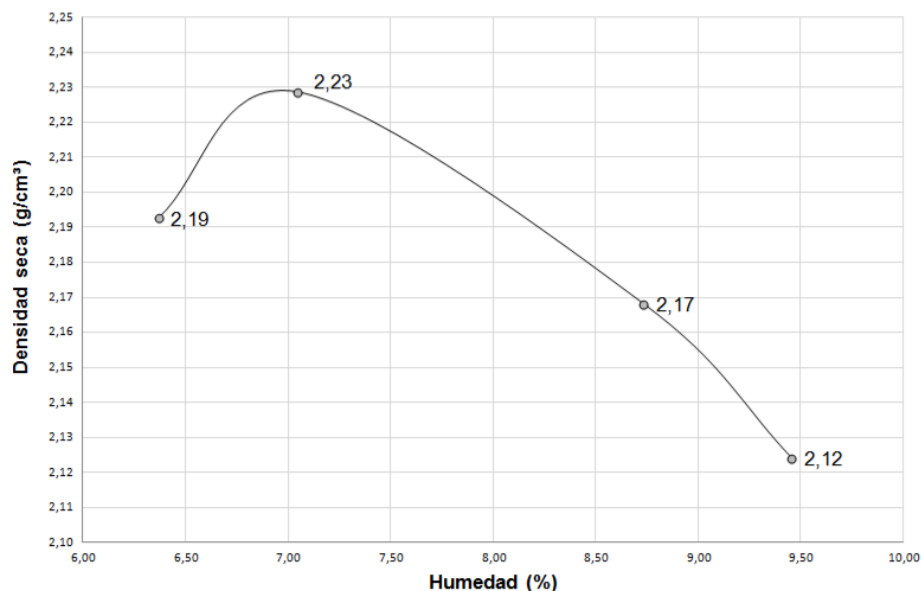


Fig. 1. Densidad seca y humedad sobre probetas cilíndricas.

4.3. Fase 3: Fabricación, curado y ensayo de probetas cilíndricas

Se fabrican cuatro probetas cilíndricas, de 10'15 cm de diámetro y 11'60 cm de altura, siguiendo la metodología del ensayo proctor normal y con un aporte de agua del 7%. Se

curan durante cuatro días en condiciones de laboratorio (20°C y 50% de humedad) y el promedio de su densidad aparente es 2'23 g/cm³. En estas condiciones se obtiene un valor MOE medio de 490 Mpa, lo que indica que el comportamiento de la tierra es elástico. Se ensayan las probetas en posición vertical (perpendicular a la compactación) para determinar el IR, obteniendo resultados parciales debido a la fragmentación de dos probetas durante el ensayo, con un valor promedio de 59 ±2. Se obtiene la resistencia a compresión de las dos probetas restantes, con un resultado promedio de 1'46 N/mm² ±0'27.

4.4. Fase 4: Fabricación, curado y ensayo de probetas prismáticas

Se fabrican trece probetas prismáticas en moldes metálicos de 15x15 cm, con altura variable entre 6 y 7'5 cm, con un aporte de agua del 7% y un peso aproximado de 3 kg de tierra por probeta, para facilitar su manipulación. La fabricación de las probetas de tapia se realiza en tres tongadas, mediante compactación manual con un mazo y un taco de madera, hasta conseguir una superficie muy bien compactada y uniforme. Estas se curan durante catorce días en condiciones de laboratorio (20°C y 50% de humedad), obteniendo como valor promedio de densidad aparente 2'11 g/cm³, y una humedad final promedio de 1'6%. En estas condiciones se ensayan las probetas en posición vertical (perpendicular a la compactación) para determinar un IR promedio de 49 ±4. Se obtiene la resistencia a compresión con un resultado promedio de 1'72 N/mm² ±0'55 (Fig. 2).



Fig. 2. Ensayo de resistencia a compresión sobre probeta prismática.

La correlación entre densidad aparente y resistencia a compresión de las probetas sigue una tendencia lineal, aunque sería necesario disponer de más valores para disminuir la dispersión existente (Fig. 3).

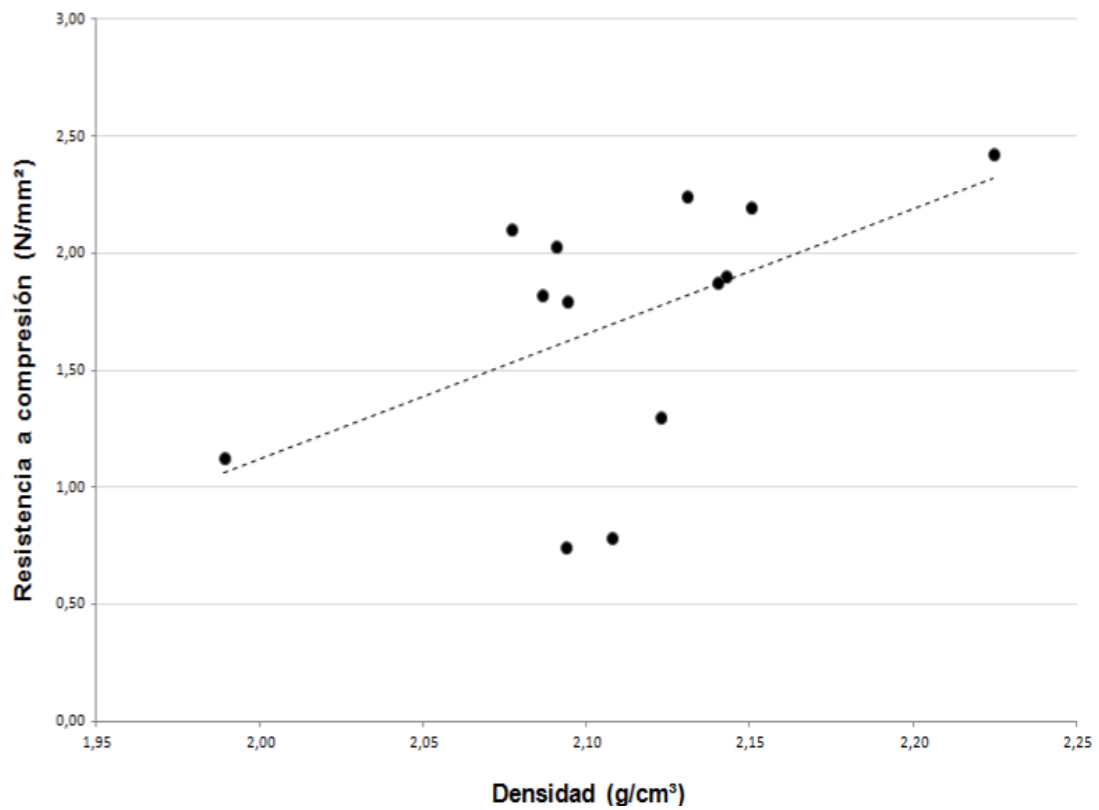


Fig. 3. Resistencia a compresión y densidad de probetas prismáticas.

La correlación entre la resistencia a compresión y el índice de rebote apunta a una tendencia exponencial, aunque también presenta una dispersión considerable (Fig. 4).

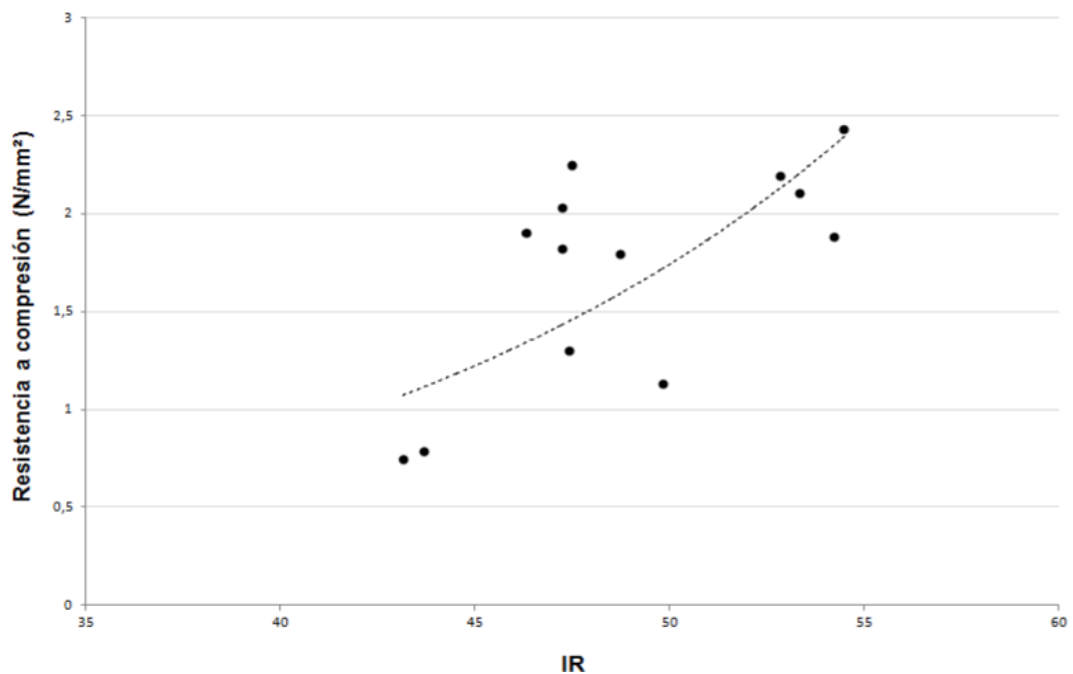


Fig. 4. Resistencia a compresión e Índice de Rebote sobre probetas prismáticas.

5. DISCUSIÓN

En los ensayos se optó en primer lugar por fabricar las probetas siguiendo la normativa proctor normal, por ser más fácilmente reproducibles. Sin embargo, la forma cilíndrica de las mismas dificultaba la obtención de datos de ensayos no destructivos (tanto IR como ultrasonidos). Por este motivo, se optó por fabricar probetas prismáticas y compactarlas manualmente, reproduciendo la puesta en obra de tapia tradicional.

Diversos autores han ensayado en laboratorio la resistencia a compresión con probetas de tapia de varios tamaños, composiciones, humedad y método de compactación. En la siguiente tabla (Fig. 5) se comparan los datos obtenidos con los encontrados en la literatura. La dispersión de valores no se debe únicamente a los factores de tipología de tierra, dimensiones de las probetas, proceso de compactación o contenido de humedad, sino además influyen los diferentes procedimientos de ensayo (Miccoli et al. 2014).

Tipo de tapia	Dimensiones (cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Contenido humedad (%)	Resistencia compresión (MPa)	Fuente
Tapia sin estabilizar, compactación manual	15x15x[6-7'5]	2'11	1'6	1'72	Datos propios
Tapia sin estabilizar	30x30x60	1'763 – 2'027	-	0'62–0'97	Maniatidis et al. 2008
Tapia sin estabilizar, compactación manual	10x10x10	2'020– 2'150	-	0'75 – 1'45	Hall et al. 2004
Tapia prefabricada (Claytec GmbH, Alemania)	50x50x11	2'190	2–3	3'3 - 3'9	Miccoli et al. 2014
Tapia estabilizada con cal	d=10 h=20	1'850	-	2'46	Maniatidis et al. 2008
Tapia estabilizada con un 10% de cemento	15x15x[90-230]	1'820	5'01	5'30	Tripura et al. 2015a

Fig. 5. Comparativa de valores de resistencia a compresión de distintas tapias.

Como se puede observar en la tabla comparativa, no siempre se proporciona la información necesaria referente al método de fabricación, tipo de compactación o contenido de humedad, por lo que es difícil reproducir y comparar datos.

Por otro lado, en proyectos de rehabilitación, es difícil extraer probetas en los muros de tapia existentes sin dañarlos. Además, las probetas que se extraen no son representativas del muro de tapia debido a los cambios producidos durante el proceso de extracción. Por lo tanto, es necesario desarrollar ensayos no destructivos que permitan caracterizarla mecánicamente sin dañarla. Hasta el momento, no existe una tabla de correlación entre ensayos no destructivos y valores reales de resistencia a compresión. En este artículo se ha dado un primer paso para la obtención de dichos valores. Si comparamos los valores IR que se han obtenido en tapia, IR promedio para las probetas prismáticas de 49, con la tabla de correlación para morteros, les correspondería una resistencia a compresión del orden de 4 N/mm². Como se ha podido comprobar, la resistencia a compresión obtenida en ensayo destructivo es aproximadamente la mitad del valor para morteros, hecho que evidencia la necesidad de obtener más valores para poder establecer la correlación pertinente.

6. CONCLUSIONES

Para poder obtener datos correlacionables universalmente para la tapia es necesario unificar criterios y determinar una metodología normalizada de caracterización de tierra, confección de probetas, curado, edad de rotura y humedad final.

Bajo el mismo criterio normalizado de obtener probetas, es necesario publicar datos de índice de rebote correlacionados con la resistencia a compresión para obtener una tabla de correlación propia de la tapia.

Dada la experiencia expuesta en este artículo, se desaconseja utilizar la metodología proctor para fabricar las probetas a ensayar, ya que su geometría dificulta la obtención de datos en ensayos no destructivos, además de que no reproduce las condiciones de compactación de la mayor parte de patrimonio edificado.

Los valores iniciales de correlación entre el índice de rebote y la resistencia a compresión de tapia, presentados en este artículo, muestran una línea de tendencia similar a la tabla de correlación de estos valores para morteros, aunque es necesario disponer de más valores comparables para poder disponer de una tabla de correlación normalizada.

7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha financiado parcialmente por el Gobierno de España (ENE2011-28269-C03-02 y ENE2011-28269-C03-03). Los autores quieren agradecer a la Generalitat de Cataluña la acreditación de calidad concedida al grupo (2014 SGR 123).

BIBLIOGRAFIA

- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20.
- Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006). Earth building in Spain. *Construction and Building Materials*, 20(9), 679–690.
- Mileto, C., & Vegas, F. (2014). *La restauración de la tapia en la Península Ibérica: criterios, técnicas, resultados y perspectivas*. Ed. TC Cuadernos.
- Maldonado, L., & Vela-Cossío, F. (2011). El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española. *Informes de La Construcción*, 63(523), 71–80.
- Bestraten Castells, S., & Hormias Laperal, E. (2012). Structural criteria for the restoration of rammed earth buildings in Barcelona province (Spain). In *Rammed Earth Conservation - Proceedings of the 1st International Conference on Rammed Earth Conservation, RESTAPIA 2012* (pp. 269–275).
- Miccoli, L., Müller, U., & Fontana, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, 61, 327–339.
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2008). Structural Capacity of Rammed Earth in Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(3), 230–238.

- Tripura, D. D., & Singh, K. D. (2015a). Axial load-capacity of rectangular cement stabilized rammed earth column. *Engineering Structures*, 99, 402–412.
- Bui, Q.-B., Morel, J.-C., Hans, S., & Walker, P. (2014). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 54, 163–169.
- Tripura, D. D., & Singh, K. D. (2015b). Characteristic Properties of Cement-Stabilized Rammed Earth Blocks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7), 04014214.
- Guo, L. Q., Li, A. L., & Peng, X. Q. (2013). Rammed-Earth Material Compressive Strength Nondestructive Testing for Fujian Earth-Building. *Applied Mechanics and Materials*, 448-453, 1233–1238.
- Lombillo, I., Villegas, L., Fodde, E., & Thomas, C. (2014). In situ mechanical investigation of rammed earth: Calibration of minor destructive testing. *Construction and Building Materials*, 51, 451–460.
- Hall, M., & Djerbib, Y. (2004). Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *Construction and Building Materials*, 18(4), 281–286.
- Miccoli, L., Oliveira, D. V., Silva, R. A., Müller, U., & Schueremans, L. (2014). Static behaviour of rammed earth: experimental testing and finite element modelling. *Materials and Structures*, 48(10), 3443–3456.

NOTA BIBLIOGRÁFICA

AUTOR 1:

Nombre: Belén González

Afiliación/institución: Universitat Politècnica de Catalunya

Dirección: EPSEB. Avgda. Gregorio Marañón 44.50, 08028, Barcelona, Spain.

Teléfono contacto: +34-934-01-62-34

E-mail: belen.gonzalez.sanchez@estudiant.upc.edu

Graduada en Ciencias y Tecnologías de la Edificación por la Universidad Politècnica de Catalunya. Máster en Ingeniería de la Edificación en la Escuela Politècnica Superior de la Edificación de Barcelona (EPSEB).

AUTOR 2:

Nombre: Antonia Navarro

Afiliación/institución: Grup de Recerca GICITED. Universitat Politècnica de Catalunya

Dirección: EPSEB. Avgda. Gregorio Marañón 44.50, 08028, Barcelona, Spain.

Teléfono contacto: +34-934-01-62-34

E-mail: antonia.navarro@upc.edu

Doctora en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona, es profesora asociada del departamento de Construcciones arquitectónicas II de la Universidad Politècnica de Catalunya en la Escuela Politècnica Superior de la Edificación de Barcelona (EPSEB), técnica del Laboratorio de Materiales de la EPSEB y miembro del grupo de investigación GICITED.

AUTOR 3:

Nombre: Lúdia Rincón

Afiliación/institución: Universitat de Lleida.

Dirección: Edifici CREA, Pere de Cabrera s/n, 25001, Lleida, Spain.

Teléfono contacto: +34-973-00-35-51

E-mail: Irincon@diei.udl.cat

Arquitecta Superior por la Universidad Politècnica de Catalunya y Doctora Arquitecta por la Universidad de Lleida. Actualmente es profesora del departamento de Informática e Ingeniería Industrial de la Universidad de Lleida (UdL).