

## LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE DANS LES TROPIQUES HUMIDES

*Un cas archéologique exceptionnel au Veracruz, Mexique*

---

**Annick Daneels**

*Instituto de Investigaciones Antropológicas,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
annickdaneels@hotmail.com*

**Luis Fernando Guerrero**

*División de Ciencias y Artes para el Diseño,  
Universidad Autónoma Metropolitana, México  
luisfg1960@yahoo.es*

---

**Résumé.** La construction en terre crue a reçu récemment une attention accrue en tant qu' une alternative écologique et soutenable. Néanmoins, il y a peu d'informations sur son application en zone tropicale humide, où les conditions climatiques sont considérées adverses du fait des fortes précipitations annuelles. Dans ce cadre, les données archéologiques obtenues d'un site sur la côte du Golfe du Mexique revêtent une grande importance, car elles démontrent que la terre a servi de matériau de construction pour ériger des édifices monumentaux durant plus d'un millénaire, et témoignent d'un patrimoine culturel et technologique aujourd'hui disparu dans la région. Ainsi, l'étude des techniques préhispaniques ouvre des possibilités pour la réintroduction d'une architecture économique dans des régions défavorisées.

### 1. Introduction

La construction en terre crue, en tant qu'alternative écologique, soutenable et bioclimatique, a reçu récemment plus d'attention grâce au Programme d'Architecture de Terre du Patrimoine Mondial de l'UNESCO (2007-2017), actuellement en sa phase 3 (2011-2014) centrée sur L'Amérique Latine et l'Asie Centrale. Néanmoins, il existe peu d'informations sur son application en zone tropicale humide, où les conditions climatiques sont a priori considérées comme adverses pour ce type d'architecture. Dans ce cadre, les données archéologiques du site de La Joya sur la côte du Golfe du Mexique se révèlent d'une grande importance, car elles démontrent que la terre y a servi de matériau de construction pour ériger des édifices monumentaux, tout au long du premier millénaire de notre ère. Le site est en même temps le seul cas d'architecture de terre exposée sur la plaine côtière du Golfe, et sa valeur comme exemple d'un patrimoine archéologique exceptionnel a déclenché un effort coordonné de développement de mesures

adéquates pour sa préservation et mise en valeur.

### 2. Le site archéologique

Le site se trouve au centre de l'état mexicain du Veracruz, à 6 km de la mer, dans un milieu sédimentaire d'argiles gonflantes (montmorillonites) (Fig. 1). Il est soumis à des précipitations de l'ordre de 1500 à 2000 mm de pluie par an, qui tombent principalement en été, tandis qu'en hiver il est exposé aux ouragans et aux tempêtes de vents du nord.

Ces conditions géologiques et climatiques sont en principe adverses à la conservation d'une architecture en terre crue : les variations d'humidité rendent le matériau de construction instable, et la force des éléments l'érode chaque saison. Néanmoins, l'archéologie prouve que les habitants de la côte du Golfe ont développé avec succès une tradition

## LA JOYA, VERACRUZ, MEXIQUE

En noir: secteurs conservés

1. Pyramide
2. Plateforme Nord
3. Plateforme Est
4. Terrain de jeu de balle
5. Réservoirs d'eau artificiels

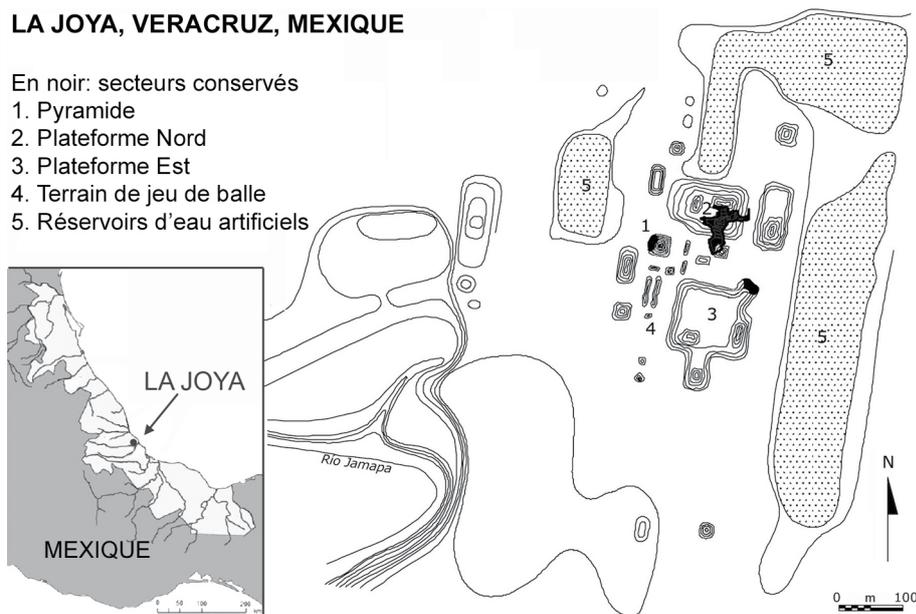


Figure 1. Plan du site, et en insert, sa localisation sur la côte du Golfe (A. Daneels)

architecturale monumentale de terre crue, dont l'origine semble remonter à la civilisation olmèque. Entre 1600 et 500 av. J. C. existaient déjà dans la région des complexes architecturaux qui furent les prototypes de l'architecture classique mésoaméricaine (Cyphers et al. 2006). Ces édifices très anciens ont été réenterrés pour leur conservation, sans qu'il ait été possible de les sonder de façon extensive pour comprendre leur technique de construction.

Ceci n'est pas le cas de La Joya, site qui par sa proximité à la ville moderne de Veracruz est détruit à 95%, du fait de l'extraction de terre pour la fabrication de briques. Ces tristes circonstances font de La Joya un cas tout à fait exceptionnel, car les fouilles de sauvetage réalisées depuis 2004 ont permis de comprendre d'une façon sans précédents la séquence millénaire, les fonctions et les techniques de construction de trois édifices encore partiellement conservés (Daneels 2008a, 2008b). En conséquence, il a été possible de démontrer que loin d'être de simples monticules de terre couverts d'herbe avec de primitives structures de bois et de palme, le préjugé en vigueur, il s'agit d'une architecture monumentale dont le style, la taille et la qualité sont en tous points conformes aux canons mésoaméricains. Ainsi, les fouilles extensives ont mis au jour des grands segments de façades, ce qui a entraîné la décision de tenter leur préservation : depuis 2008, deux secteurs du site sont protégés par l'Institut National d'Anthropologie et Histoire du

Mexique (INAH).

### 3. Les styles et systèmes de constructions

La pyramide est une construction carrée à quatre escaliers à balustrade. La première étape de construction avait une hauteur calculée à environ 12 m de haut, avec 12 degrés (Fig. 2). La deuxième étape de construction, datée vers 700 apr. J.C., probablement similaire à la première, eut une hauteur de 22 m (plus haute que la pyramide des Niches de Tajín, la plus célèbre du Veracruz).

De cette dernière étape, seule était conservée une partie du remblai, ce qui a néanmoins permis de documenter une surprenante technique de construction en damier, alternant des grands blocs de terre argileuse et de terre sablonneuse, d'un mètre de haut et plusieurs mètres de côté : les premiers sont solides, et empêchent les seconds de s'écrouler ; d'autre part, les remblais sablonneux contiennent les blocs d'argile gonflante, et permettent aussi le rapide écoulement de l'humidité phréatique ou pluviale (Daneels et Guerrero 2011). Cette technique permet de contrôler les pressions internes et l'humidité d'une masse de sédiments qui, employés de façon individuelle, seraient instables.

De la première étape de construction, les proportions graduellement réduites des degrés superposés



Figure 2. Vestige de la façade ouest de la pyramide en terre crue de La Joya, Ver., Mexique (Photo Annick Daneels, mai 2008, de fouilles autorisées par l'INAH)

allègent la masse de construction et démontrent en plus un emploi raisonné des principes de la perspective, qui donnent au monument une stature monumentale (Fig. 3).

La Plateforme Nord et la Plateforme Est, pour leur part, ont été identifiées comme des palais sur acropole, munis d'amples résidences avec des murs

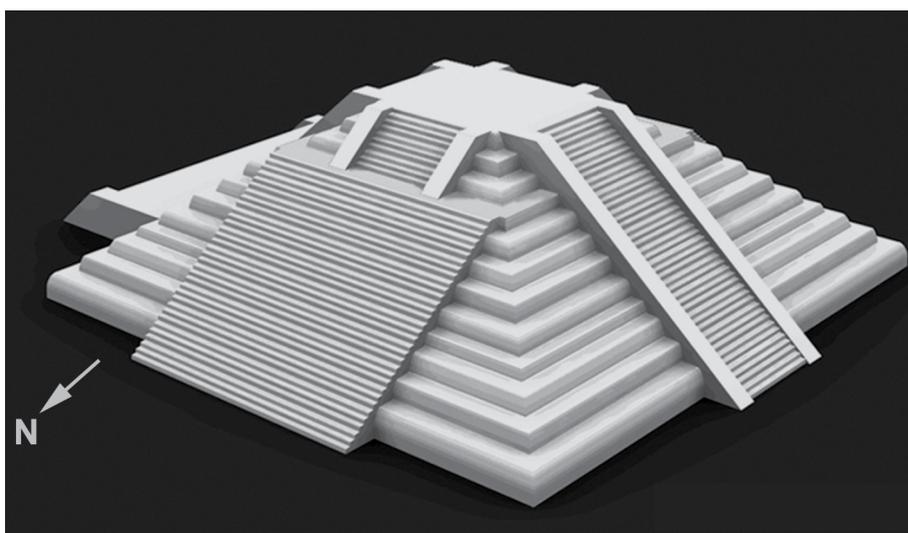


Figure 3. Reconstruction 3D de la première étape de construction de la pyramide (Données Annick Daneels, de fouilles autorisées par l'INAH, 3D Giovanna Liberotti 2010)

construits d'adobes, couvertes de toits plats faits d'un lattis de bois couvert d'une couche de terre, avec un système de captation des eaux de pluie et de drainage par une canalisation de tubes en céramique (Daneels et Guerrero 2011). L'orientation de l'édifice permet aux portes et aux porches à colonnes de capter les vents dominants, et joue sur la disposition des espaces : l'entrepôt de denrées alimentaires est au nord, la partie la plus fraîche et sombre, la cuisine au sud, la chambre à l'est, la salle de séjour à l'ouest (Fig. 4).

En plus des résidences d'élite et des quartiers du personnel de service, il a été possible d'identifier également des salles d'audience, des salles d'accès, des bureaux administratifs publics, des pyramides funéraires commémoratives, des autels et des temples, et peut-être même un observatoire astronomique (Daneels 2008a) (Fig. 5).

La diversité des fonctions, la taille et la qualité des



Figure 4. Reconstruction 3D de la troisième étape de construction de la Plateforme Est (Données Annick Daneels, de fouilles autorisées par l'INAH, 3D David Piña 2011).

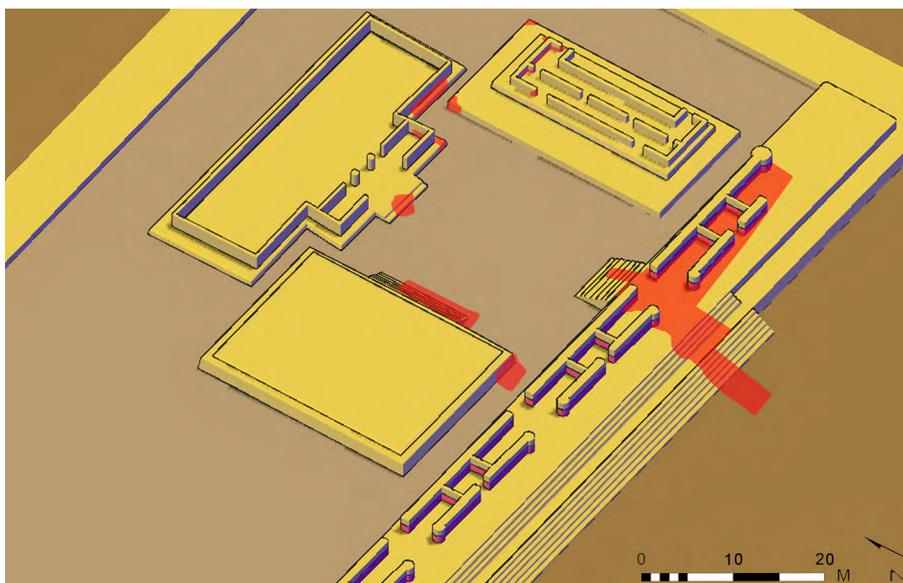


Figure 5. Reconstruction 3D de la première étape de construction de la Plateforme Nord (Données Annick Daneels, de fouilles autorisées par l'INAH, 3D Giovanna Liberotti 2010)

constructions renforcent l'interprétation de ces acropoles comme palais, similaires à ceux des sites maya. Les deux acropoles étudiées ont une longue séquence d'occupation, avec cinq ou six étapes de construction : la Plateforme Nord commence vers 200 av. J.C., et la Plateforme Est à partir de 300 apr. J.C., tandis que le site dans son ensemble est abandonné vers 1000 apr. J.C.

#### 4. Études des matériaux de construction

L'étude de la technique constructive de ce site démontre l'utilisation de solutions originales aux problèmes de pressions internes de remblai, de drainage d'eaux pluviales. Néanmoins, la recherche a commencé à s'orienter en particulier sur les revêtements architecturaux à base d'enduits d'argile mêlés à des herbes coupées fines, qui d'après la séquence stratigraphique ont des vies utiles d'environ 50 ans. Les analyses de composition minéralogique par pétrographie en lames minces et par fluorescence et diffraction de rayons X (pour les sédiments et pour déterminer les argiles), et de résistance à la compression, réalisées sur des échantillons d'adobes, de remblais et de recouvrements de murs et sols, indiquent que les minéraux utilisés sont de qualité moyenne à basse (du fait des difficultés posées par les argiles gonflantes), tandis que la spectrographie et la botanique suggèrent que le succès de la construction se doit à un agglutinant organique consolidant aux propriétés hydrofuges.

Ce produit semble avoir été employé aussi bien dans les adobes que dans les recouvrements. D'autre part, la microstratigraphie suggère que les couches de revêtements étaient traitées par des applications aqueuses probablement saisonnières qui contenaient l'agglutinant (Daneels et Guerrero 2011). Des études complémentaires au microscope électronique à balayage, à la spectroscopie FTIR et à la résonance magnétique nucléaire sont actuellement en cours sur des échantillons de revêtements pour déterminer le polymère d'origine végétal ou animal employé à l'époque. Les derniers résultats obtenus à partir d'une extraction indiquent la présence d'une partie de chaîne de flavonoïdes. Ceci représente un premier succès, mais pas encore la solution, puisqu'il faudra remonter à la source du ou des produits originaux, dont nous ne savons rien dans le cas des tropiques humides au Mexique. La recherche concernant la terre crue s'est concentrée sur le figuier de Barbarie, *Opuntia Sp.*, dont l'emploi est attesté pour les périodes anciennes et modernes, mais qui est une plante caractéristique des hauts plateaux arides et semi-arides (Guerrero 2007 : 189).

La tradition archéologique millénaire sur la plaine

côtière du Golfe prouve que la terre est un matériau de construction viable même dans des conditions de haute humidité. Dès lors, l'étude des techniques préhispaniques offre des possibilités pour la réintroduction d'une architecture économique et durable dans des régions défavorisées. En particulier, identifier la composition de l'enduit d'argile qui protégeait les constructions avec succès pour plus de cinquante ans et parvenir à le reproduire, contribuera de façon significative à la recherche et à l'application de l'architecture de terre dans l'actualité.

#### 5. Travaux de préservation

Entretiens, des efforts sont en cours depuis 2009 pour développer une technique de préservation de l'architecture exposée : il s'agit de la première tentative en tropique humide au Mexique. De concert avec des archéologues, des spécialistes de conservation de la terre crue et des ingénieurs en construction et en étude des matériaux de l'UNAM et de la UAM-Xochimilco au Mexique, de l'Institut Polytechnique de Torino en Italie et de l'entreprise Wacker Chemie d'Allemagne, et après des épreuves préliminaires en laboratoire et in situ, nous avons opté pour une combinaison de recouvrement par géotextile (PET non-woven de 275 gr/m<sup>2</sup>) et couche de sacrifice de terre crue renforcée aux polymères vinyliques artificiels, protégée par une aspersion aux silicones hydrofuges. Ce traitement est réversible, et n'interfère pas avec le cycle de contraction-expansion et la « respiration » du vestige original, puisqu'il permet l'évaporation de l'humidité interne. L'aspect de la surface est semblable à celui des recouvrements originaux, et la résistance de la couche de sacrifice est suffisante pour exposer la façade en plein air, sans avoir à la recouvrir d'un toit, ce qui permet d'apprécier le vestige depuis une perspective qui lui est propre.

Cette stratégie a été appliquée au vestige conservé de la façade ouest de la pyramide. L'hydrofugation superficielle n'a pas résisté aux violentes précipitations annuelles, raison pour laquelle nous avons opté en 2010 pour expérimenter une couche de sacrifice consolidée par des proportions très basses de polymères vinyliques (0,8%) et un hydrofugeant en poudre (0,3%), de façon à ce que cette couche soit d'une texture et résistance similaire à l'édifice. Cette couche a résisté à des conditions climatiques extrêmes (ouragan Karl en septembre 2010), ce qui nous a amené à l'appliquer à l'ensemble de la pyramide au début 2011. Ce recouvrement a bien résisté aux pluies estivales, ce qui est encourageant (Fig. 6). Le site restera sous observation pendant les trois prochaines années, pour pouvoir évaluer l'efficacité et le coût de l'entretien.

### 6. Mise en valeur par participation communautaire

Les découvertes et les efforts de préservation à La Joya ont suscité un intérêt chez les autorités et le public en général au niveau médiatique, ce qui a amené l'équipe à charge du projet à proposer la création d'un musée municipal associé au site, pour présenter le contexte historique des monuments et garantir la conservation et l'entretien d'un vestige à ce jour unique au Mexique, et créer une conscience et appréciation pour ce patrimoine jusqu'à maintenant ignoré et en voie de disparition.

Ces démarches impliquent une collaboration avec l'Institut National d'Anthropologie et d'Histoire du Mexique, et les autorités du municipale et de l'état du Veracruz, d'une part, et de l'autre avec la communauté et les groupes d'intérêts locaux. Le coût de l'achat du terrain (1,700m<sup>2</sup>) et de la construction du musée (300 m<sup>2</sup>), d'après le projet de L. F. Guerrero, serait aux environs de 300,000 euros. Celui-ci inclurait une salle d'exposition, une salle de conférence, des bureaux administratifs, un atelier-entrepôt, ainsi que les services sanitaires et une cafétéria (Fig. 7). Le style choisi pour cet immeuble est moderne, mais reprend les éléments et angles constructifs analogues aux



Figure 6. Vue du mur de soutènement nord et de la façade de la pyramide, protégée par géotextile et couche de sacrifice, après les pluies de 2011 (Photo David Piña, octobre 2011)

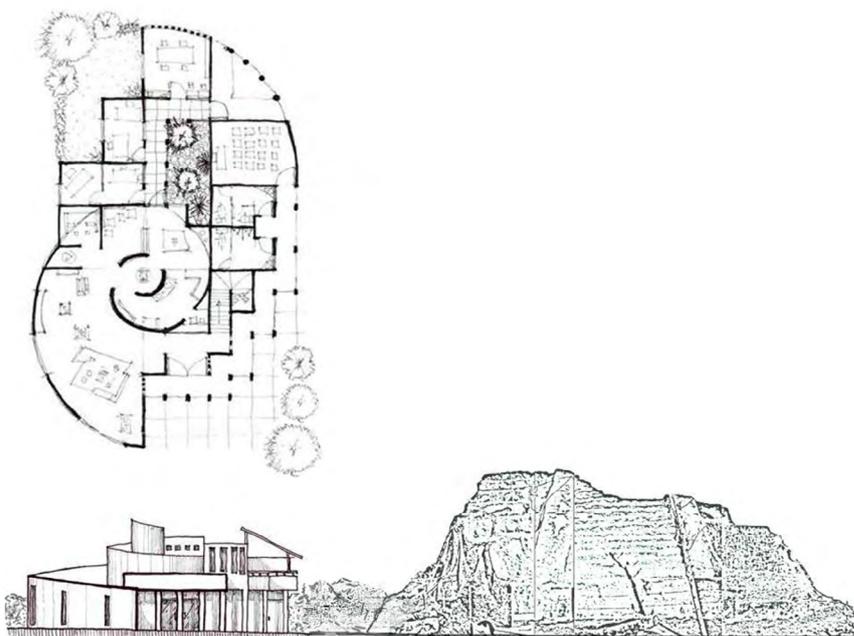


Figure 7. Projet de musée municipal (conception Luis F. Guerrero ©2011)

constructions précolombiennes.

Un tel musée constituerait un centre culturel qui servira une communauté en passe de devenir urbaine, dans le programme de croissance de la ville de Veracruz toute proche. Son association à la façade de la pyramide donnera au musée un caractère unique qui le promouvra au niveau touristique, aussi bien national qu'international. Un autre avantage qu'il aura par rapport aux musées municipaux existant dans l'état du Veracruz, est que les pièces qui y seront exposées auront toutes été obtenues de fouilles scientifiques, ce qui permet de les placer dans leur contexte chronologique et fonctionnel précis (Fig. 8).



Figure 8. Exemples d'objets et contextes découverts à La Joya (Photos et dessins : Annick Daneels, 2007, 2010, 2011, de fouilles autorisées par l'INAH)

### Conclusion

Les données archéologiques obtenues à La Joya révèlent l'existence d'une tradition d'architecture de terre monumentale parfaitement viable dans des conditions climatiques des tropiques humides, milieu où son usage est limité dans le monde actuel. Ceci, malgré le fait que la construction se base sur l'emploi d'argiles gonflantes, matériau peu apprécié par les ingénieurs civils contemporains. Les systèmes

constructifs identifiés par la stratigraphie montrent des stratégies originales, qui ont des possibilités d'application à la construction moderne, comme le contrôle de pressions internes des remblais et le drainage effectif des eaux de pluie et de l'humidité capillaire.

La technique la plus intéressante, qui est probablement ce qui a permis le succès de cette

architecture, réside dans le revêtement d'argile, et en particulier l'agglutinant organique qui en faisait partie.

La reconstruction du procédé de recouvrement constituerait une découverte significative non seulement pour la connaissance de la technologie précolombienne, mais ouvrirait aussi une réelle possibilité pour la préservation de l'architecture ancienne et pour la réintroduction d'une construction en terre crue dans les tropiques humides, une alternative économique et soutenable. Au point où en est l'effort de recherche, nous n'avons néanmoins pas encore l'assurance de pouvoir aboutir à l'identification de l'agglutinant, de par la dégradation du produit et la difficulté de reconstruire le procédé de polymérisation.

Les essais de préservation en cours ont opté pour la combinaison de géotextile et couche de sacrifice, qu'il a fallu consolider et hydrofuger avec des produits modernes (polymères vinyliques et silicones) en très basses proportions, pour obtenir une protection effective dans les conditions climatiques locales. Ce recouvrement, dont l'entretien à long terme serait de bas coût, permettrait de laisser les vestiges exposés et à la vue publique. Ceci est de première importance, pour promouvoir la connaissance et la protection de cette architecture jusqu'ici oubliée et donc virtuellement inconnue, et par là même en urgent besoin de protection. La proposition d'associer la façade la pyramide de La Joya à un musée municipal apparaît comme une stratégie viable pour garantir la conservation à long terme de ce vestige, en tant qu'exemple évident de ce type d'architecture, et de l'accompagner d'un discours qui éclaire le contexte culturel qui l'a créé.

### Remerciements

Le premier auteur a reçu les permissions du Conseil d'Archéologie de l'Institut National d'Anthropologie et d'Histoire du Mexique pour le projet de fouilles et de préservation. Le financement provient de l'Université Nationale Autonome du Mexique, de la part de l'Institut de Recherches Anthropologiques et du Département Général des Affaires du Personnel Académique (PAPIIT IN 305503 et 405009, PASPA 2006-2007), ainsi que du Conseil National de Sciences et Technologie (Conacyt FI90636), de la Fondation pour l'Avancement de la Recherche Mesoaméricaine (FAMSI 07021) et de Dumbarton Oaks (Grant 2007-2008). Les analyses de matériaux de construction préhispaniques ont été réalisées par le Laboratoire de Restauration (Manuel Reyes : densité, porosité) et le Laboratoire de Paléoethnobotanique (Cristina. Adriano : identification des macrorestes végétaux) de

l'Institut de Recherches Anthropologiques, l'Institut de la Recherche sur les Matériaux (Alfredo Maciel : résistance à la compression ; Miguel Angel Canseco : FTIR), l'Institut de Chimie (Alfonso Romo del Vivar : extraction par méthanol, FTIR, Spectrométrie de Masses, Résonnance Magnétique Nucléaire), la Faculté de Chimie (Humberto Gómez et Iván Puente : Microscopie Electronique à Balayage), et l'Institut de Géologie (Luis Silva : pétrographie sur lame mince, Patricia Girón : Fluorescence et Diffraction de Rayons X) de l'Université Nationale Autonome du Mexique. La sédimentologie a été faite par Rubén Roux de l'Université Autonome de Tamaulipas (limites d'Atterberg, résistance à la compression, identification des échantillons dans le système de classification unifiée des sols (USCS). Le CRATerre (Hubert Guillaud) a apporté de précieux conseils dus à sa longue expérience et distinguée trajectoire dans la recherche sur l'architecture de terre. Dans les travaux de préservation, sous la direction de Luis Guerrero, nous avons eu l'aide du Polytechnique de Torino (Manuela Mattone : sédimentologie, épreuves de résistance à l'érosion de recouvrements expérimentaux). L'entreprise Wacker – Mexique a offert l'assistance technique et les produits de préservation (le polymère VINNAPAS 5044N et les produits hydrofugeants SILRES BS 1001A et Poudre D). Nous remercions Chloé Pomedio pour la correction de style.

## References

---

Cyphers, Ann, Alejandro Hernández-Portilla, Marisol Varela-Gómez et Lilia Grégor-López. 2006. Cosmological and Sociopolitical Synergy in Preclassic Architectural Precincts. Dans *Precolumbian Water Management: Ideology, Ritual and Power*, eds. Lisa Lucero et Barbara Fash: 17-32. Tucson: University of Arizona Press.

Daneels, Annick. 2008a. Monumental Earthen Architecture at La Joya, Veracruz, Mexico. Crystal River: Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies Inc. Disponible à <http://www.famsi.org/reports/07021>, consulté le 23 octobre 2011.

Daneels, Annick. 2008b. La Joya Pyramid, Central Veracruz, Mexico: Classic Period Earthen Architecture. Project Grant Reports. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks. Disponible à [http://www.doaks.org/research/pre\\_columbian](http://www.doaks.org/research/pre_columbian), consulté le 23 octobre 2011.

Daneels, Annick et Luis Fernando Guerrero-Baca. 2011. Millenary Earthen Architecture in the Tropical Lowlands of Mexico. *APT Bulletin* 42 (1): 11-18. Albany: Mount Ida Press.

Guerrero Baca, Luis Fernando. 2007. Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Apuntes* 20 (2): 182-201. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.