

# Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium

Getty Center  
Los Angeles, California  
April 11–13, 2006

*Résumés supplémentaires en français*

**Note à propos de ce document complémentaire :**

Ce travail est un document complémentaire aux *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium*, publiés par le Getty Conservation Institute. Ce document comprend les résumés en français des seize exposés publiés dans les actes.

Les actes complets sont disponibles en anglais en PDF téléchargeable sur le site Web du Getty Conservation Institute à [www.getty.edu/conservation/publications](http://www.getty.edu/conservation/publications).

©2009 J. Paul Getty Trust

The Getty Conservation Institute  
1200 Getty Center Drive, Suite 700  
Los Angeles, CA 90049-1684  
United States  
Téléphone: 310 440-7325  
Fax: 310 440-7702  
E-mail: [gciweb@getty.edu](mailto:gciweb@getty.edu)  
[www.getty.edu/conservation](http://www.getty.edu/conservation)

Coordinatrice de la production : Angela Escobar  
Rédactrice en anglais : Sylvia Lord  
Graphiste : Hesperheide Design  
Traductrices et rédactrices en français : Elise Yakuboff et Alessandra Bonatti

Le Getty Conservation Institute (GCI) œuvre au niveau international afin de faire progresser les pratiques de conservation dans le domaine des arts plastiques - interprétés ici comme incluant les objets, les collections, l'architecture et les sites. Le GCI se met au service des professionnels de la conservation à travers des programmes de recherche scientifique, d'éducation et de formation, et des projets pilotes, ainsi que par la diffusion des résultats de son travail et celui d'autres dans ce domaine. Dans toutes ses initiatives, le GCI cherche à développer et transmettre des connaissances qui bénéficieront aux professionnels et aux organisations responsables de la conservation du patrimoine culturel mondial.

PREMIÈRE PARTIE

## **Recherche et Essai**

*Daniel Torrealva, Julio Vargas Neumann,  
and Marcial Blondet*

**Earthquake Resistant Design Criteria and Testing  
of Adobe Buildings at Pontificia Universidad  
Católica del Perú**

*Mohammad Shariful Islam and Kazuyoshi Iwashita*

**Seismic Response of Fiber-Reinforced and  
Stabilized Adobe Structures**

*Dominic M. Dowling and Bijan Samali*

**Low-Cost and Low-Tech Reinforcement Systems  
for Improved Earthquake Resistance of Mud  
Brick Buildings**

*E. Leroy Tolles*

**Getty Seismic Adobe Project Research and  
Testing Program**

# Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings at Pontificia Universidad Católica del Perú

*Daniel Torrealva, Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet*

## **Critères et tests d'un modèle parasismique des bâtiments en adobe à la Pontificia Universidad Católica del Perú**

La recherche sur la résistance antisismique des bâtiments en adobe a commencé au Pérou au début des années 1970 après le tremblement de terre dévastateur de Huaraz, le 31 mai 1970. La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), entre autres institutions, a commencé un programme pour investiguer le comportement sismique des bâtiments en adobe en utilisant une table basculante pour construire et tester des maquettes en terre à l'échelle en plan de 4 x 4 m (environ 13 x 13 ft.). Le résultat principal de ces premiers essais était l'identification du besoin d'utiliser un matériel de renforcement continu et compatible avec le matériel original, comme la canne de bambou, à l'intérieur des murs en adobe. Lors des années 1980, une table de vibration a été installée dans le Laboratoire des structures à PUCP pour tester les modèles similaires avec une simulation sismique unidirectionnelle. Ces essais dynamiques ont corroboré les

résultats obtenus avec la table basculante. Au cours des années 1990 le programme de recherche a focalisé sur la réduction de vulnérabilité des bâtiments existants par l'usage des techniques de renforcement qui pourraient être appliquées sur la surface extérieure des murs—principalement le grillage en acier couvert en stuc de sable et de ciment. Depuis 2003, les essais dynamiques sur les maquettes en adobe à l'échelle ont fait le point sur l'usage du grillage polymère comme matériel de renforcement. Ce dernier semble plus compatible avec les bâtiments en terre et résiste au niveau élevé d'accélération sismique. La recherche sur la résistance antisismique des bâtiments en terre réalisée de manière continue par la PUCP au cours des derniers trente-cinq ans a servi comme base de critères d'un modèle parasismique indiqués dans le code péruvien des bâtiments en terre. Dans toutes les versions du code (1977, 1985, et 2000), le critère d'élasticité est utilisé pour la conception de stabilité initiale et le concept du design à l'état limite est présent sur les systèmes de renfort nécessaires pour éviter l'effondrement.

# Seismic Response of Fiber-Reinforced and Stabilized Adobe Structures

*Mohammad Shariful Islam, Kazuyoshi Iwashita*

## **Réaction sismique des structures en adobe renforcées et stabilisées à la fibre**

L'essentiel des pertes de vies humaines et des pertes matérielles provoquées par les tremblements de terre dans les pays en développement est attribuable à l'effondrement de maisons en adobe. Malgré cela, même si l'on prend en considération différentes raisons d'ordre socioéconomique, et en dépit de l'existence de solutions de rechange, ce type de construction va sans doute se poursuivre pendant bien des décennies à venir, en particulier dans les pays en développement. Les déficiences antisismiques des structures en adobe sont avant tout attribuables à leur comportement inélastique et fragile et à la faible résistance de leur mortier. Le renforcement des structures en adobe devrait être peu onéreux, disponible localement et facile à construire. Dans ce contexte, le chanvre, le jute, et la paille ont été sélectionnés pour améliorer la résistance antisismique des blocs d'adobe.

Le ciment a été choisi pour renforcer le mortier. Les résultats d'essai uniaxial ont révélé l'efficacité du jute et de la paille, mais pas du chanvre, pour renforcer la ductilité de l'adobe. Cependant, la résistance de l'adobe au paillis est nettement inférieure à celle de l'adobe renforcée au jute. Cela signifie que, parmi ces fibres, le jute offre la meilleure option de renforcement des performances antisismiques. L'adobe renforcée avec 2 % de jute enregistrera les plus fortes améliorations de ses performances en cas de tremblement de terre. Utiliser de préférence de la toile de jute de 1 à 2 cm (0.4 à 0.8 in.) de long pour obtenir les meilleures performances antisismiques. L'utilisation de toile de jute simple ou de toile de jute et de ciment ensemble permet de renforcer la résistance du mortier. Par ailleurs, la fibre de jute permet de réduire les fissurations du mortier. Les résultats d'essai sur table de vibration ont également révélé que les structures en adobe renforcées à la fibre de jute présentent la plus forte résistance antisismique.

# Low-Cost and Low-Tech Reinforcement Systems for Improved Earthquake Resistance of Mud Brick Buildings

*Dominic M. Dowling, Bijan Samali*

## **Méthodes peu coûteuses et de technologie simple de renforcement de la résistance sismique des maisons en brique de terre crue**

Les structures traditionnelles et non renforcées en brique de terre crue sont extrêmement vulnérables aux dommages et aux destructions en cas d'évènements sismiques. Cette vulnérabilité est évidente dans les structures historiques en adobe du monde, ainsi que les logements traditionnels en adobe des pays en développement où des tremblements de terre violents causent régulièrement des pertes tragiques de vies humaines et de moyens de subsistance. La recherche sur l'adobe en cours à l'University of Technology, Sydney (UTS) en Australie, se concentre sur le développement de systèmes de renforcement des structures en adobe qui sont à la fois peu coûteux et de technologie simple. Jusqu'à présent, dix panneaux muraux en adobe en forme de fer à cheval et une maquette complète d'une maison (à l'échelle 1 : 2) dotés de systèmes de renforcement différents ont été soumis à des charges dynamiques transitoires à l'aide d'une table de vibration pour en évaluer la réaction à des forces sismiques. L'utilisation de spectres d'entrée progressifs a permis de garantir la similitude dynamique et de transmettre l'énergie suffi-

sante à chaque structure pour provoquer des conditions dommageables. Les caractéristiques de déplacement de la force et les mécanismes de défaillance de chaque structure ont fait l'objet d'une étude pour déterminer la capacité de résistance de chaque système. Selon les résultats, il est possible d'obtenir une amélioration considérable de la performance structurelle en utilisant un renforcement externe rigide et vertical (par exemple, du bambou), un renforcement horizontal externe (par exemple, du bambou ou du fil de métal) et une poutre annulaire ou sommitale en bois d'oeuvre. Cette matrice intégrée permet de restreindre les déplacements et de renforcer l'ensemble de la structure. Les essais réalisés ont révélé que ce système permet de retarder efficacement le début des fissurations et d'éviter l'effondrement, même en cas de secousses violentes. Le système proposé est simple et efficace, d'un coût raisonnable et facilement adaptable à toute une gamme de matériaux et de conditions locales. Il peut être utilisé pour l'adaptation et le renforcement sismique des structures existantes ainsi que pour les constructions neuves. Son potentiel est extrêmement encourageant pour son application aux pays en développement et pour la protection et la préservation des structures historiques en adobe du monde entier.

# Getty Seismic Adobe Project Research and Testing Program

*E. Leroy Tolles*

## **Programme de recherche et de tests du Getty Seismic Adobe Project**

Pendant les années 1990, le Getty Conservation Institute (GCI) a financé le Getty Seismic Adobe Project (GSAP), un projet de recherche multidisciplinaire pour concevoir des mesures antisismiques efficaces avec un minimum d'impact sur le tissu historique caractéristique de monuments historiques en adobe.

Les premières phases de la recherche incluaient une étude pratique des types architecturaux de bâtiments historiques en adobe, une analyse des pratiques communes pour moderniser ces bâtiments historiques américains, un aperçu des publications techniques, et une revue des dommages de ces bâtiments. On a surtout manqué d'informations de base pour la documentation détaillée des dommages sismiques réels sur ces monuments historiques.

Le tremblement de terre de Northridge en 1994 a fourni une bonne perspective de recherche car les monuments historiques près de Los Angeles, Californie, ont subi d'importants dégâts. La description des dommages causés à plus d'une douzaine de bâtiments historiques en

adobe a été documentée et publiée en 1996. Cette étude sur le terrain comprenait également une vue d'ensemble et une analyse des dégâts sismiques typiques causés aux monuments historiques en adobe de la région.

L'effort de recherche a surtout consisté à réaliser des essais sur table de vibration sur des petites maquettes de murs et bâtiments en adobe. Neuf bâtiments de taille réduite (à l'échelle 1 : 5) ont été testés à Stanford University à Palo Alto, Californie, et deux maquettes à grande échelle (à l'échelle 1 : 2) ont été testées dans les bureaux de recherche de l'Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), University « SS. Cyril and Methodius » à Skopje, Macédoine. Le programme de tests a permis d'évaluer l'efficacité d'un train de mesures d'adaptation antisismique – notamment par ceintures verticales et horizontales, barres de renforcement verticales, ancrage au niveau du toit et du sol, et utilisation de chaînages.

La dernière partie du projet consistait à établir des directives d'ingénierie pour adapter des bâtiments historiques en adobe. Elles ont été associées à des directives de planification et publiées ensemble, comme partie intégrante de la publication finale du GSAP.

DEUXIÈME PARTIE

# **Codes de construction et Normes**

*Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet,  
and Nicola Tarque*

**The Peruvian Building Code for  
Earthen Buildings**

*Hugh Morris*

**New Zealand: Aseismic Performance-Based  
Standards, Earth Construction, Research,  
and Opportunities**

*Mohammed Hamdouni Alami and Stefania Pandolfo*

**Reflecting on Materials and Structure:  
Building Cultures and Research Methodology  
in the Project of a Seismic Building Code for  
Traditional Materials in Morocco**

*Steadie R. Craigo*

**“To Do No Harm”: Conserving, Preserving,  
and Maintaining Historic Adobe Structures**

# The Peruvian Building Code for Earthen Buildings

*Julio Vargas Neumann, Marcial Blondet, Nicola Tarque*

## **Code péruvien de construction pour les bâtiments en terre**

Chaque fois un tremblement de terre fort a lieu dans des régions où la construction en terre est de pratique commune, il y a des dommages répandus, des pertes économiques et des morts provoqués par l'effondrement des bâtiments en terre. Dans quelques cas, comme au Pérou, les communautés académiques et professionnelles ont réagi contre cette situation terrible en menant la recherche pour trouver des alternatives adéquates de renforcement parasismique des bâtiments en terre, et les solutions résultantes ont été mises en œuvre dans un code de construction.

Cet exposé discute des effets des tremblements de terre sur les habitations en terre et les solutions techniques pour le renforcement parasismique développées à la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Le code péruvien de l'adobe est brièvement décrit, avec des commentaires critiques en ce qui concerne quelques considérations du design. Finalement, les auteurs partagent quelques pensées et réflexions sur l'utilité des codes de construction qui définissent les exigences de la construction des bâtiments en terre dans les pays en voie de développement.

# New Zealand: Aseismic Performance-Based Standards, Earth Construction, Research, and Opportunities

*Hugh Morris*

## **Nouvelle-Zélande : Normes de performance antisismique, construction en terre, recherche et opportunités**

Nouvelle-Zélande a une combinaison de bâtiments en terre, soit construits par le propriétaire, soit de grande valeur réalisés par des entrepreneurs de bâtiment. Cet

exposé décrit le contexte historique de la construction en terre, donne un état de lieux de la conservation, propose une description générale du développement des normes néo-zélandaises applicables à la construction en terre et identifie des opportunités de recherche dans le domaine.

# Reflecting on Materials and Structure: Building Cultures and Research Methodology in the Project of a Seismic Building Code for Traditional Materials in Morocco

*Mohammed Hamdouni Alami, Stefania Pandolfo*

## **Réfléchissant sur les matériaux et la structure : cultures de construction et méthodologie de recherche du projet d'établissement d'un code de construction antisismique pour les matériaux traditionnels au Maroc**

Cet exposé présente le projet d'un Code de construction pour les matériaux traditionnels conçu et élaboré au Maroc avec la coopération internationale à la suite d'un tremblement de terre violent qui a frappé la ville d'Al-Hoceima en février 2004. Une série d'actions a été réalisée dans un cadre de travail organisé, et fait par étape. Jusqu'à présent, la mise en œuvre du projet atteint la deuxième des trois étapes.

En premier lieu, cet exposé donnera un survol général du projet. Ensuite, il discutera de la nécessité pour le développement d'une meilleure connaissance des systè-

mes structuraux locaux et des hypothèses théoriques sur la culture locale de construction qui ont aidé à définir des typologies architecturales et structurelles. Dans ce travail, la culture de construction n'est pas perçue simplement comme élément excédentaire de savoir-faire, mais comme vue théorique des matériaux, de la forme et de la structure, une ontologie et épistémologie relative. Les opinions des maçons maîtres sur les matériaux en terre, l'exécution du travail et les techniques de construction sont présentées en connexion avec des formes architecturales. Sur la base de ces opinions et autres observations, une définition préliminaire des typologies architecturales et structurelles a été élaborée, corroborée également par une enquête approfondie menée dans très régions discrètes du pays.

# “To Do No Harm”: Conserving, Preserving, and Maintaining Historic Adobe Structures

Steadie R. Craig

## **“Ne faire aucun mal” : Conserver, préserver et entretenir des structures historiques faites en adobe**

L'adobe de terre crue est un matériel de construction plastique simple et naturel, qui survivra des siècles si bien maintenu. Dans les régions de sismicité active, telle la Californie, le sud-ouest des États-Unis, et d'autres régions du monde, la maintenance doit inclure des réparations structurelles sensées et des stabilisations mises à niveau parasismique. Les efforts de mitigation des risques sismiques sont nécessaires autant pour la sécurité des habitants que pour la préservation du patrimoine historique de l'adobe.

Cet exposé présente un aperçu des principes de conservation et les deux définitions divergentes du terme *conservation*. Une explication est donnée concernant *The Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties* (Weeks et Grimmer 1995), les rapports sur les structures historiques et les procédés de revue réglementaire de projets, et l'exposé discute de comment ceux-ci contribuent aux meilleurs usages de la conservation et aux adaptations antisismiques des structures historiques faites en adobe.

TROISIÈME PARTIE

## Études de cas

*Bilge Isik*

**Seismic Rehabilitation Study in Turkey for Existing Earthen Construction**

*John Hurd*

**Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions of Central Asia and Trans-Himalaya**

*Sandeep Sikka and Charu Chaudhry*

**Research on the Upgrade of Traditional Seismic Retrofits for Ancient Buddhist Temples in the Region of Spiti and Kinnaur in the Western Himalayas**

*Dina D'Ayala*

**Seismic Vulnerability and Conservation Strategies for Lalitpur Minor Heritage**

*Patricia Navarro Grau, Julio Vargas Neumann, and Maribel Beas*

**Seismic Retrofitting Guidelines for the Conservation of Doctrinal Chapels on the Oyón Highlands in Peru**

# Seismic Rehabilitation Study in Turkey for Existing Earthen Construction

*Bilge Isik*

## **Étude de réhabilitation antisismique des constructions en terre en Turquie**

L'architecture en terre varie de manière considérable en fonction de l'environnement culturel et géographique dans lequel elle se trouve. En Turquie, les principaux types d'architecture en terre sont les constructions en briques de terre et en *hımış* (hımışh). Un bâtiment en *hımış* est une structure à ossature en bois remplie de blocs de terre ; un bâtiment en terre est une structure murale solide de maçonnerie porteuse. Les bâtiments en maçonnerie de terre sont fragiles, alors que les structures à ossature en bois ont fait la preuve de leur résistance dans les régions sismiques. Même un bâtiment de 150 ans peut subsister sans entretien, prouvant ainsi sa durabilité et sa stabilité.

Au siècle dernier, les constructions en terre étaient réalisées sans soutien technologique ; nombreux sont les habitants affectés par les performances insuffisantes de ces

bâtiments. Toutefois, des bâtiments en *hımış* construits par des ouvriers locaux non qualifiés et sans inspection ont résisté au tremblement de terre d'Adapazarı en 1999, et leurs habitants ont survécu.

La sécurité structurelle des bâtiments en terre dépend de leurs principes de conception et des propriétés des matériaux employés. Depuis 1978, des chercheurs de l'Istanbul Technical University (ITU) ont concentré leurs efforts sur le renforcement de la durabilité des matériaux en mélangeant du gypse et de la terre ; la recherche a simultanément concentré sur l'amélioration des réponses antisismiques de la structure.

Cet exposé traite d'une enquête effectuée sur les principes conceptuels des bâtiments en maçonnerie de terre et en *hımış* pour en évaluer les réactions sismiques. Les chapitres correspondants du Code antisismique turc sont mis en exergue pour un examen plus approfondi des mesures de réhabilitation.

# Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions of Central Asia and Trans-Himalaya

*John Hurd*

## **Observation et application d'anciennes techniques de réparation du pisé et de l'adobe dans les régions sismiques de l'Asie centrale et du Trans-Himalaya**

L'opportunité d'examiner tant des techniques de construction antisismiques que des techniques de réparation de pointe offerte par la ceinture de limon-loess de la Chine, de la région transhimalayenne et de l'Asie centrale fait appel à la transmission de connaissances et de techniques empiriquement apprises remontant à quelque trois mille ans. Que ce soit les constructions en pisé du Plateau tibétain, des collines du sud de l'Himalaya et de la Chine centrale et du nord ou les constructions en adobe de l'Asie centrale, des pays turcs et des chaînes de montagnes du nord de l'Altaï, l'emploi et la tradition des caractéristiques et des techniques antisismiques ont survécu jusqu'à il y a peu.

Dans la mesure où ces techniques émanent d'une perception culturelle régionale, elles ont souvent été ignorées au profit des solutions modernes basées sur l'emploi de béton de ciment ou au profit d'adaptation antisismique, utilisant des techniques et des matériaux modernes qui sont adéquats, mais non nécessairement convenables pour la région. Les techniques anciennes, connues sous le nom de « brochage souple » ou « brochage stratifié » et de « bourrage à sec » démontrent leur efficacité par leur résistance durant des périodes considérables dans des régions de forte activité sismique.

L'auteur a examiné des réparations effectuées en Afghanistan, au Pakistan, dans les anciennes républiques soviétiques d'Asie centrale, dans les états de la chaîne de l'Himalaya et dans le Bassin Tarim de Chine occidentale. Depuis une quinzaine d'années, il applique les techniques ainsi observées dans les structures en torchis de Grande Bretagne, les structures archéologiques d'Asie centrale et les ruines de l'Himalaya à la construction d'abris de secours ; il a également employé les techniques de levage horizontal de « matelas » végétaux lors du tremblement de terre de 1998 à Badakhshan, au nord de l'Afghanistan. L'auteur a pu procéder à une inspection de ces structures à la suite d'un autre tremblement de terre, survenu en 2000 ; la performance des structures s'est révélée adéquate et la plupart des habitants ont survécu. La majorité des structures traditionnelles du quatrième siècle de notre ère à l'époque moderne ont eu recours à des poutres annulaires antisismiques de catégories diverses employant du bois d'œuvre, de la brique et des matériaux végétaux, notamment de la toile de jute et de paille unie. Les réparations, y compris les brochages, révèlent l'utilisation du même protocole de levage de poutres annulaires composées de matériaux différents. D'importantes techniques de bourrage à sec continuent à être employées dans la région de nos jours et ces réponses bien pratiquées aux fissurations et aux affaiblissements sismiques méritent d'être approfondies, étudiées, et testées.

# Research on the Upgrade of Traditional Seismic Retrofits for Ancient Buddhist Temples in the Region of Spiti and Kinnaur in the Western Himalayas

*Sandeep Sikka, Charu Chaudhry*

## **Recherches sur l'amélioration des adaptations antisismiques traditionnelles des anciens temples bouddhistes de la région de Spiti et Kinnaur dans l'Himalaya occidental**

Les anciens temples bouddhistes de l'Himalaya occidental ont évolué spontanément en réponse aux conditions climatiques extrêmes et aux ressources matérielles limitées de la région. Ces structures ont améliorés à travers d'un processus constant d'essai et d'erreur au fil des ans par les artisans/entrepreneurs régionaux afin de résister les vibrations sismiques et autres calamités naturelles. Malheureusement, ces bâtiments en terre se trouvent dans une des régions les plus vulnérables aux phénomènes sismiques, Zone 4 (Bureau of Indian Standards 1993) et ont subi dans le passé des dégâts. Les bâtiments de cette zone sont sensibles à des précipitations annuelles de 200–400 mm (7,8–15,6 in.). L'un des principaux projets d'investigation sur la conservation de ces monuments historiques en terre, réalisé dans le cadre d'une bourse du Museum of Archaeology and Anthropology, University of Cambridge, UK, avait pour but la conception et le développement des renforcements des composantes structurelles des bâtiments en terre en vue de mitiger les effets des vibrations sismiques. Le projet implique une documentation et une analyse détaillées des adaptations antisismiques déjà en place dans les bâtiments, suivies d'une évaluation attentive des risques structurels, basée sur (1) une documentation précise sur les éléments structurels et de leur déflexion après un tremblement de terre ; (2) une compréhension de la contrainte subie par les murs en examinant des

maquettes de toitures traditionnelles et (3) une analyse de résistance des anciennes briques actuelles en adobe. Cette étude se penche également sur le changement climatique observé dans la région aussi bien que l'augmentation attendue des niveaux d'humidité, qui a provoqué une réduction considérable de la résistance des structures en adobe à tout mouvement tectonique.

La conservation de ce patrimoine vivant soulève deux questions majeures et conflictuelles. D'un côté, la préservation de l'architecture ancienne et de ses caractéristiques sous leur forme originale est de la plus haute importance en tant que documentation historique. De l'autre côté, ce patrimoine vivant constitue une menace grave pour la sécurité des habitants en cas de tremblement de terre. L'adaptation modifierait dans une certaine mesure le tissu traditionnel, en plus du risque couru au niveau de l'authenticité de la structure. La mise au point de techniques d'adaptation parasismique pratiques pour de tels bâtiments anciens dans la région doit prendre en compte les risques potentiels pour la vie humaine, l'état actuel de la structure, et les matériaux et leur comportement avant un nouveau tremblement de terre. Cet exposé présente les résultats de l'étude et décrit l'état des structures historiques en terre dans la région après le tremblement de terre de 1975. Il décrit également les techniques d'adaptation parasismique traditionnelles en place dans les structures et explique les techniques et les matériels potentiels pour le développement de nouvelles techniques en vue de consolider les structures et les matériaux de composition avant un autre tremblement de terre.

# Seismic Vulnerability and Conservation Strategies for Lalitpur Minor Heritage

*Dina D'Ayala*

## **Vulnérabilité sismique et stratégies de conservation du patrimoine mineur de Lalitpur**

Le Népal se situe dans une région du monde où le risque sismique est très important. La Vallée de Katmandou au Népal héberge une grande quantité d'héritage architectural dans les trois capitales de Katmandou, Lalitpur, et Bhaktapur, où les bâtiments du treizième siècle forment une portion conséquente du tissu urbain. Alors que des études sur la vulnérabilité sismique d'autres éléments de l'environnement construit ont été développées, notamment en ce qui concerne les services primaires comme les écoles et les hôpitaux, peu de recherche technique a été faite à l'égard de la vulnérabilité sismique de l'architecture historique de la région et des techniques d'adaptation antisismique convenables. La procédure décrite dans les paragraphes suivants suit une méthodologie développée pour évaluer la vulnérabilité sismique des centres urbains historiques en Europe. Ce travail comprend :

- l'identification des typologies structurelles typiques en termes d'agencement, de structure, et d'agglomération

- le recensement des caractéristiques parasismiques traditionnelles existantes
- la sélection d'un certain nombre de bâtiments représentatifs de chaque typologie dans une zone particulière du centre urbain

Pour les bâtiments de chaque typologie choisis, la démarche suivante est suivie :

- l'élaboration d'un formulaire d'évaluation adapté
- des relevés des rues qui ont pour but l'identification des caractéristiques géométriques et structurelles
- l'analyse des données suivant la théorie de la plasticité et le mécanisme d'effondrement pour évaluer le degré de vulnérabilité sismique
- la définition de scénarios de dommages

Selon les résultats obtenus, les conclusions de cet exposé offrent des recommandations pour la réparation et la stabilisation sismique des bâtiments choisis.

# Seismic Retrofitting Guidelines for the Conservation of Doctrinal Chapels on the Oyón Highlands in Peru

*Patricia Navarro Grau, Julio Vargas Neumann, Maribel Beas*

## **Directives d'adaptation parasismique pour la conservation des chapelles doctrinales des hautes terres d'Oyon, au Pérou**

Dans la province d'Oyón, dans le département de Lima, aux altitudes qui varient entre 2500 et 4100 m (8202–13.451 ft.) au-dessus du niveau de la mer, il existe une quarantaine de chapelles doctrinales construites au dix-septième siècle. L'Église Catholique a construit ces dernières afin d'éliminer la pratique persistante des idolâtries païennes malgré plusieurs centaines d'années

d'évangélisation espagnole en Pérou. L'expression architecturale de ces chapelles correspondent à la version mestizo-vernaculaire typique de la Renaissance tardive du seizième siècle dans les Andes centrales. Cet exposé présente les caractéristiques d'une typologie structurale représentative de ce groupe de chapelles et développe des recommandations d'adaptation antisismique des bâtiments historiques à travers de deux conceptions de stabilisation sismique fondées sur les directives du programme de recherche Getty Seismic Adobe Project (GSAP).

QUATRIÈME PARTIE

**Mise en œuvre du  
programme de  
recherche du Getty  
Seismic Adobe  
Project**

*Frederick A. Webster*

**Application of Stability-Based Retrofit  
Measures on Some Historic and Older Adobe  
Buildings in California**

*E. Leroy Tolles*

**Seismic Retrofit Applications of Getty Seismic  
Adobe Project Technology to Historic Adobe  
Buildings**

*John M. Barrow, Douglas Porter, Stephen Farneth,  
and E. Leroy Tolles*

**Evolving Methodology in Seismic Retrofit:  
Stabilizing the Las Flores Adobe**

# Application of Stability-Based Retrofit Measures on Some Historic and Older Adobe Buildings in California

*Frederick A. Webster*

## **Application de mesures de réhabilitation et de stabilisation de monuments historiques et d'anciennes structures en adobe de Californie**

Les récents tremblements de terre survenus en Californie, notamment le séisme de 2003 à San Simeon, ont causé des dommages et des pertes considérables aux structures les plus anciennes et les plus importantes au plan culturel de la Californie, ses bâtiments historiques et anciens en adobe. Ces tremblements de terre destructifs ont offert aux ingénieurs travaillant sur la préservation des monuments historiques une occasion d'étudier le type de dommages subis par les structures en maçonnerie meuble (argile non cuite) des suites de secousses considérables du sol.

En plus d'un relevé des dommages subis par les bâtiments historiques en adobe à la suite du tremblement de terre de Northridge, des essais sur tables de vibration ont été réalisés par la National Science Foundation pendant les années 1980 sur des maquettes structurelles en adobe à l'University of California à Berkeley (UC Berkeley) et à Stanford University et pendant les années 1990 par le projet de recherche Getty Seismic Adobe Project (GSAP). Ces essais avaient pour but de reproduire plusieurs des types de dommages observés sur le terrain et de déterminer l'efficacité de différentes métho-

des basées sur la stabilité d'adaptation parasismique des bâtiments en adobe non renforcé. Ces méthodes basées sur la stabilité limitent le déplacement relatif entre les éléments d'une structure et utilisent la gravité en tant que force de rétablissement. L'adaptation parasismique axée sur la stabilisation semble moins invasive pour l'ensemble du tissu historique que celle basée sur le renforcement ; elle est également sensible tant aux performances en matière de protection de la vie et de la sécurité et aux exigences de préservation historique.

Avec l'entrée en vigueur ces dernières années de lois californiennes et d'ordonnances locales sur les codes de construction pour résoudre le problème de la consolidation des bâtiments en maçonnerie non renforcée (URM), l'application de mesures d'adaptation axée sur la stabilité aux bâtiments historiques et anciens en adobe est de plus en plus acceptée tant par les partisans de la préservation des monuments historiques que par les responsables de la construction. Cet exposé évoque brièvement le développement de mesures d'adaptation axée sur la stabilité préparées par le GSAP, et présente ensuite quatre exemples de bâtiments historiques et anciens en adobe récemment réhabilités en Californie dont les adaptations parasismiques ont été basées sur ces concepts.

# Seismic Retrofit Applications of Getty Seismic Adobe Project Technology to Historic Adobe Buildings

*E. Leroy Tolles*

## **Applications de la technologie d'adaptation antisismique du Getty Seismic Adobe Project à des bâtiments historiques en adobe**

Cet exposé résume un ensemble de stratégies d'adaptation sismique conçues par l'auteur qui sont destinées à des bâtiments en adobe en Californie. Cette gamme de techniques fondamentales d'adaptation sismique inclut les stratégies principales d'adaptation parasismique couvertes par le programme de recherche Getty Seismic Adobe Project (GSAP) réalisé pendant les années 1990 par le Getty Conservation Institute (GCI). La gamme des installations mises en place sur des bâtiments historiques comprend un bâtiment de plain-pied aux épais murs d'adobe, plusieurs bâtiments à un étage aux épais murs d'adobe, un bâtiment de plain-pied aux murs peu épais en adobe construit vers 1920, et des ruines d'une maison en adobe. Les cinq bâtiments couverts par cet exposé démontrent l'ampleur de la gamme des applications des techniques d'adaptation antisismique.

La seule structure aux murs particulièrement minces est la petite maison en adobe de Rancho Camulos.

Construite aux environs de 1920, elle dispose d'un style architectural qui ne ressemble pas aux maisons traditionnelles en adobe construites au dix-neuvième siècle, contrairement aux autres bâtiments choisis pour cet exposé. Les autres structures historiques en adobe avaient des murs d'une épaisseur de 50 cm (1,6 ft.) à un mètre (3,3 ft.).

La gamme des mesures d'adaptation antisismique incluait l'ancrage aux niveaux des planchers et de la toiture. Des barres verticales ont été utilisées tant au centre des murs en adobe existants que dans les murs reconstruits. Des ceintures verticales et des câbles et barres horizontaux ont été utilisés pour stabiliser les murs en adobe les plus sérieusement endommagés.

Le projet final porte sur la stabilisation des ruines d'un étage du monument en adobe de Las Cruces. Les mesures de stabilisation font essentiellement appel à une ossature en acier léger utilisée pour empêcher le renversement des murs en adobe qui, pour l'essentiel sont des murs autoportés. L'utilisation d'amortisseurs hydrauliques a permis de réduire la dimension des éléments en acier de l'ossature extérieure en acier.

# Evolving Methodology in Seismic Retrofit: Stabilizing the Las Flores Adobe

*John M. Barrow, Douglas Porter, E. Leroy Tolles, Stephen J. Farneth*

## **Méthodologie évolutive de l'adaptation sismique : Stabilisation du monument en adobe de Las Flores**

Pendant trois ans, le Monument national historique en adobe de Las Flores, construit en 1868, a fait l'objet d'une stabilisation antisismique et structurelle. Situé dans une zone d'activité sismique de la Californie du Sud, cet ensemble de bâtiments est l'une des rares adobes authentiques du dix-neuvième siècle, qui sont construites sur deux étages et combinent les styles Hacienda et Monterey typiques des traditions hispaniques de la Californie. Ces bâtiments sont construits en briques d'adobe avec une combinaison de revêtements à base de terre et de chaux.

Depuis les années 1970, ces bâtiments laissés à l'abandon, s'étaient détériorés. En 2000, avec la participation d'une équipe multidisciplinaire, un projet de stabilisation par étapes a été mis en place pour sauver ce monument. Cette équipe a appliqué son expérience collective en architecture, en ingénierie et en conservation à l'élaboration d'un plan respectant les impératifs d'habitabilité-sécurité et de préservation des tissus historiques.

Le California Historical Building Code (CHBC) (Code californien des monuments historiques) a été appliqué de manière à permettre la mise en place de solutions

alternatives, basées sur les performances des bâtiments pendant un tremblement de terre (California Building Standards Commission 1998a). Le plan d'adaptation antisismique basé sur la stabilité pour ce projet a été élaboré du programme de recherche Getty Seismic Adobe Project (GSAP) avec le soutien du Getty Conservation Institute (GCI) pendant les années 1990. La maison du ranch, ou maison principale, et la remise ont été stabilisées en 2002–4 avec des stratégies d'adaptation antisismique qui tiraient parti des caractéristiques de dissipation de l'énergie des murs épais en adobe en phase post-élastique d'un événement sismique. En limitant le déplacement durant un tremblement de terre, ces systèmes de stabilisation d'intrusion minimale composés de barres, de ceintures d'acier, de goupilles recouvertes de coulis et de panneaux de contreplaqué ont servi de renforcer la continuité structurelle, d'éviter le renversement des murs et de minimiser la perte de tissu historique. Les travaux sur la remise ont incorporé l'utilisation de coulis en terre pour l'installation des barres de renforcement centrales. Les coulis en terre sont d'obtention facile, compatibles avec l'adobe ancienne, et réversibles. Un module de formation a été également intégré au programme de construction.