



**HAL**  
open science

## **How the scientific collaboration of engineers and architects on local building cultures can make a vital breakthrough: 10 years of works in Grenoble to support people affected by disasters and make communities resilient**

Yannick Sieffert, F. Vieux-Champagne, Dominique Daudon, Philippe Garnier, Jean-Marc Huygen, Olivier Moles, Christian Belinga Nko'o, Stéphane Grange, L. Daudeville

### **► To cite this version:**

Yannick Sieffert, F. Vieux-Champagne, Dominique Daudon, Philippe Garnier, Jean-Marc Huygen, et al.. How the scientific collaboration of engineers and architects on local building cultures can make a vital breakthrough: 10 years of works in Grenoble to support people affected by disasters and make communities resilient. Terra Lyon 2016: Actes / proceedings / actos, Jul 2016, Grenoble, France. hal-02004529

**HAL Id: hal-02004529**

**<https://hal.science/hal-02004529>**

Submitted on 1 Feb 2019

**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.

# How the scientific collaboration of engineers and architects on local building cultures can make a vital breakthrough: 10 years of works in Grenoble to support people affected by disasters and make communities resilient

n°318, 4.2. Ingénierie, techniques constructives et structures, résistance sismique / Engineering, building techniques and structures, seismic resistance / Ingeniería, técnicas de construcción y estructuras, resistencia sísmica

**Authors : Sieffert Y.<sup>1</sup>, Vieux-Champagne F.<sup>1,2</sup>, Daudon D.<sup>1</sup>, Garnier P.<sup>2</sup>, Huygen J.-M.<sup>3</sup>, Moles O.<sup>2</sup>, Belinga Nko'o C.<sup>2</sup>, Grange S.<sup>1</sup>, Daudeville L.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, 3SR, F-39000 Grenoble, France

<sup>2</sup> National School of Architecture of Grenoble, CRAterre, AE&CC Research Unit, France

<sup>3</sup> National School of Architecture of Marseille, France

## ABSTRACT

In the majority of universities around the world, architectural and civil engineering disciplines are often siloed. This division is detrimental to the relationship between the construction industry and the design industry but also to the research field. To address this issue, two institutions in Grenoble (ENSAG/CRAterre and UJF/3SR) started to offer multidisciplinary initiative courses in 2007 (“Conception collaborative” course and “Projet multidisciplinaire” involving master students). Thanks to this first innovative pedagogic collaboration the gap between researchers has been bridged and followed by research projects in order to enhance the seismic resistant knowledge of traditional construction with earth.

## 1. INTRODUCTION

Contrairement aux autres pays européens, la formation ainsi que les tutelles de rattachement des architectes et des ingénieurs Génie Civil en France sont fortement dissociées : le ministère de la Culture pour les premiers, le ministère de l'Éducation, de la Recherche voire de l'Industrie pour les autres. Dès lors, les enseignants, les étudiants, mais aussi les formes et les contenus pédagogiques sont généralement très différents. Après la formation, dans le cadre de l'activité professionnelle, il s'en suit des schémas de fonctionnement spécifiques, bâtis sur les stéréotypes vivaces et fantasmatiques de l'architecte artiste, toujours en retard, qui conçoit du beau qui ne tient pas et de l'ingénieur qui construit du solide sans esthétique, focalisé sur les techniques de réalisation. Si la réalité quotidienne est loin d'être aussi caricaturale, les formations doivent permettre un dialogue plus apaisé et plus efficace : le souci de qualité de l'objet final, dans une approche plus globale de l'innovation constructive soutenable (dans le sens du rapport Brundtland en 1987 à l'ONU), est devenu prépondérant pour répondre aux enjeux de

demain.

La soutenabilité, par sa complexité et par sa nécessité de changer nos modes de pensée classique, exige la pluridisciplinarité afin de traiter la construction dans sa globalité et non à l'échelle de disciplines hiérarchisées. En effet, architectes et ingénieurs doivent travailler ensemble afin d'aborder dès la phase d'avant projet de toutes constructions les questions liées aux usages, aux confort, aux cycles de vie des matériaux incluant l'énergie grise dépensée pour les fabriquer et les recycler en fin de vie et non pas uniquement l'énergie consommée pendant la vie du bâtiment, au respect des matières premières et à l'utilisation de matériaux recyclés, réemployés ou bio-sourcés, aux techniques naturelles de ventilation, d'ensoleillement et d'ombrage (plantation d'arbres), etc (Huygen 2008).

La (re)construction en zone de catastrophe naturelle exige aussi la pluridisciplinarité afin d'élaborer des stratégies permettant d'une part, d'assurer l'héritage culturel et les spécificités des matériaux locaux disponibles dans les territoires soumis aux catastrophes naturelles et d'autre part, de réaliser des (re)constructions en accord avec les capacités techniques et économiques des populations locales. Ceci nécessite de procéder en 5 étapes : 1) connaître les typologies de cultures constructives spécifiques du pays ; 2) faire l'inventaire des pathologies, des destructions et des constructions ayant eu un comportement para-sinistre en rapport avec les effets de site ; 3) proposer des modèles de reconstruction spécifique et conservant l'héritage culturel et l'aspect soutenable de ces modèles afin d'assurer une appropriation des constructions par les populations locales ; 4) convaincre les décideurs locaux de la nécessité d'autoriser et de valoriser ces types de construction ; 5) aider et former les populations à retrouver la connaissance et la fierté de leurs cultures constructives qui disparaissent devant un modèle d'uniformisation lié à la mondialisation et à la prédominance du béton armé comme le seul matériaux symbolisant la modernité. En effet, cette prédominance actuelle du béton armé a conduit à la destruction d'un grand nombre d'habitats et à la mort de ses occupants (Langenbach 2008) car les techniques de réalisation et les moyens pour les mettre en place pour obtenir des constructions para-sinistres sont habituellement non réunis dans les pays économiquement faibles.

## 2) COLLABORATION PEDAGOGIQUE

Bâtie en premier lieu sur la motivation des auteurs de cet article, une collaboration pédagogique a été développée depuis une dizaine d'année entre l'Université Joseph Fourier et l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble puis de Marseille afin de proposer des ateliers intensifs de construction soutenable. L'objectif initial était de faire dialoguer des étudiants des deux disciplines complémentaires qui souvent, dans le système actuel, s'ignorent. Ce travail pédagogique est réalisé sous forme d'atelier intensif de 10 jours consécutifs où les étudiants abordent tout le processus de construction. Entre 50 à 60 étudiants sont présents sur ces ateliers. Des équipes mixtes de 8 étudiants sont composées dès le premier jour. Les deux premiers jours sont consacrés aux intentions de projets, à l'observation des usages et au relevé des matériaux disponibles. Les deux jours suivants donnent lieu à la détermination des projets des équipes avec une présentation à l'ensemble des étudiants et aux encadrants. Les deux jours suivant sont consacrés à la

détermination des systèmes constructifs qui sont testés sur des prototypes créés par les étudiants. Les 4 derniers jours permettent de passer des plans et des prototypes à la réalisation finale des structures. Lors du dernier jour, une inauguration est réalisée avec des élus et des citoyens grâce à une communication sur l'événement.

Mais au-delà de l'intérêt pédagogique évident d'un atelier pluridisciplinaire « conception et réalisation », la thématique abordée est aussi très innovante : construire avec les matériaux disponibles localement et gratuitement, c'est-à-dire tous les matériaux considérés par leur ancien propriétaire comme des déchets et qui sont réemployés dans ces ateliers, leur offrant une seconde vie. Ainsi les étudiants sont sensibilisés sur différentes questions leur permettant d'avoir un regard critique sur la construction contemporaine. En premier lieu, ils apprennent que les ressources en matières premières sont disponibles en quantités finies et limitées et qu'il est urgent d'économiser ces ressources et pas uniquement ceux des produits pétroliers. Puis ils apprennent qu'à chaque innovation technique proposée aujourd'hui dans le cadre du « développement durable » (isolation thermique, étanchéité à l'air, développement d'énergie renouvelable) est associée une limitation provenant des ressources en matières premières elles-mêmes et aux conséquences écologiques globales provenant de la production mais aussi de la fin de vie de ces technologies. Enfin, ils apprennent à respecter les matériaux, même considérés jusqu'ici comme des déchets car ils détiennent une richesse en matière première et en énergie grise. Ils apprennent aussi à construire simplement avec les matériaux glanés ; simplement mais avec intelligence afin d'obtenir des structures satisfaisantes esthétiquement comme mécaniquement. Devant ce type de matériau, les étudiants architectes et ingénieurs sont à pied d'égalité : ils n'ont aucun repère préconçu lors de leur formation et doivent faire un effort important pour transposer leurs connaissances. De plus, sans repère, la nécessité de travailler ensemble de façon pluridisciplinaire est plus forte ce qui conduit à une fusion rapide de leurs compétences. Parmi tous les matériaux disponibles gratuitement, les matériaux bio-sourcés ont une place privilégiée car ils sont auto-générés et leur utilisation est totalement réversible. Le bois (sous toutes ses formes, palettes, etc.), la paille, le bambou et la terre sont omniprésents dans ces ateliers (fig. 1, fig. 2 et fig. 3). L'ensemble de la philosophie et de l'organisation de ces ateliers sont présentés dans Sieffert et al. 2014.

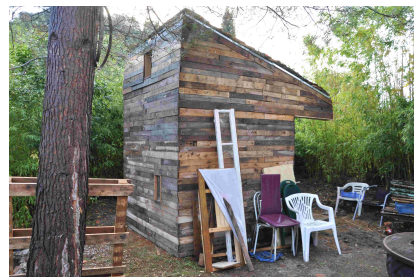


Fig. 1. Torchis et enduit terre Fig. 2. Cabane palette dans la cabane palette

Fig. 3. Mur de soubassement (terre et bouteilles)

### 3) COLLABORATION DE RECHERCHE

Suite au succès de la collaboration pédagogique présentée précédemment, les auteurs de cet article ont souhaité d'étendre leur collaboration au domaine de la recherche dans un souci de formation au niveau doctoral et post-doctoral. Les activités de recherche et de consultant du laboratoire CRAterre (École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble) au niveau des constructions en terre dans les zones sismiques et ceux du laboratoire 3SR (de l'Université Joseph Fourier de Grenoble) au niveau de l'évaluation du comportement non-linéaire hystérétique et dissipatif des structures sous sollicitations sismiques, sont naturellement complémentaires pour permettre de promouvoir les cultures constructives locales et d'apporter des preuves tangibles de leur qualité intrinsèque parasismique.

#### 3.1) Haïti

Grâce à l'outil « flash » de l'ANR, deux doctorats ont été financés (Vieux-Champagne 2013 et Caimi 2014), un dans chacun des laboratoires, pour aider à la (re)construction de Haïti suite au séisme du 12 janvier 2010. Cette collaboration de recherche fut associée à de nombreuses organisations internationales et haïtiennes permettant un va-et-vient d'information et d'échange entre reconstructions opérationnelles (sur le terrain) et résultats de recherche (Caimi et al. 2013). Ceci permit à la population d'être immédiatement mise au centre du processus d'analyse des besoins et des capacités locales, d'adopter des approches participatives, de valoriser les personnes détentrices des savoirs et savoir-faire locaux, de renforcer les liens sociaux et permettre ainsi un retour à la dignité des personnes, de repérer les savoir-faire et modes d'organisation locaux qui participent à des stratégies de résilience et de protection du bâti et intégrer ces éléments lors de la définition des programmes à mettre en œuvre (Joffroy T. et al. 2014). Cette phase d'analyse et de concertation a permis de développer un modèle de maison (fig. 5) basé sur les cultures constructives traditionnelles haïtiennes (fig. 4). Des expérimentations à différentes échelles (liaison, cellule élémentaire, mur, maison) couplées à une modélisation fine par macro-élément comportant des lois non-linéaires hystérésis et dissipatives ont permis de qualifier et déterminer de façon fine la qualité intrinsèque parasismique du modèle étudié (Vieux-Champagne et al. 2014). Des essais sur table vibrante à l'échelle de la maison ont même été conduits (fig. 6), utilisant des méthodes expérimentales à la pointe de la technologie scientifique comme des mesures de champs de déplacement par caméra rapide (fig. 7, Sieffert et al. 2015). L'ensemble de ces travaux de recherche a conduit à l'obtention de la part du ministère en charge de la construction en Haïti d'une certification du modèle étudié permettant de légaliser leur construction, couronnant ainsi la collaboration d'un succès indéniable. Plus de 5 000 maisons ont été construites en Haïti et plusieurs séminaires de restitution ont été réalisés en Haïti.



Fig 4. Maison traditionnelle



Fig 5. Modèle étudié



Fig 6. Essai sur table vibrante

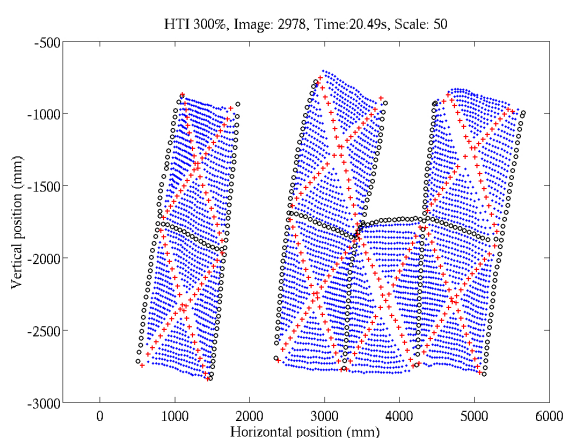


Fig 7. Champs de déplacement obtenu par corrélation d'images (3 fois l'intensité du séisme d'Haïti de 2010).

### 3.2) Autres actions de recherche

Pendant les dix dernières années, plusieurs recherches ont été conduites dans le même type de collaboration que celle présentée ci-dessous. Citons ici l'étude du comportement des murs maçonnés en adobe et l'impact des inclusions en bois horizontales qui permettent de stopper la progression des fissures et qui assurent une dissipation d'énergie sous sollicitation sismique. Ce type d'étude a commencé par des travaux d'étudiants en master, réalisés à échelle réduite avec des sucres ou des briques de jeux d'enfant pour modéliser la maçonnerie (fig. 8). Puis une campagne d'essai a été réalisée sur des murs de dimension réelle (fig. 10a et b).

Parallèlement des modélisations numériques par éléments discrets, méthode bien adaptée au milieu discontinu que représentent les briques et leurs joints en interaction (Daudon et al 2014), ont été calées sur les résultats expérimentaux afin de proposer une méthode fiable pour analyser le comportement des maçonneries en adobe (fig. 9).

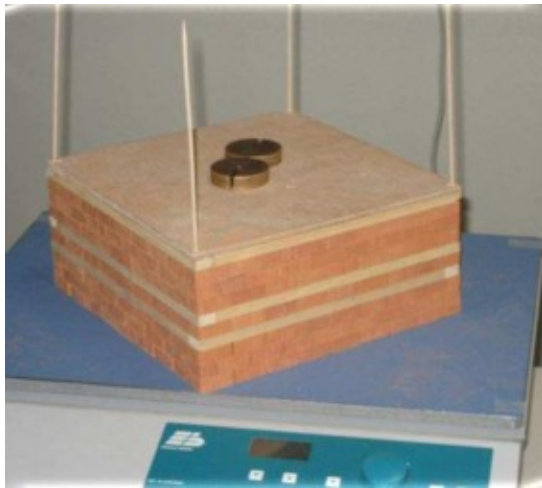


Fig 8. Échelle réduite (brique jeux d'enfant et inclusion)

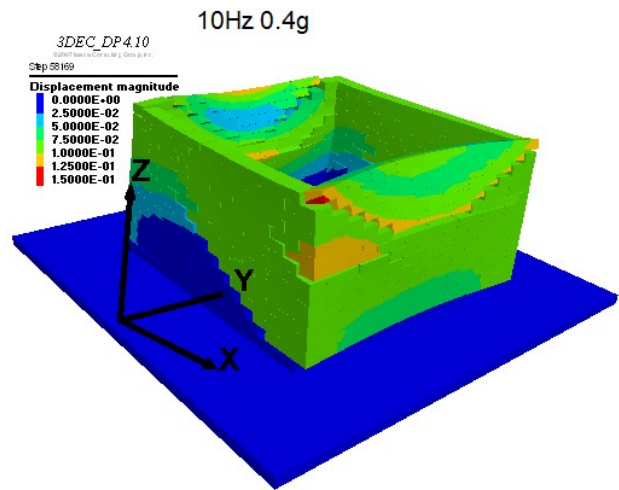
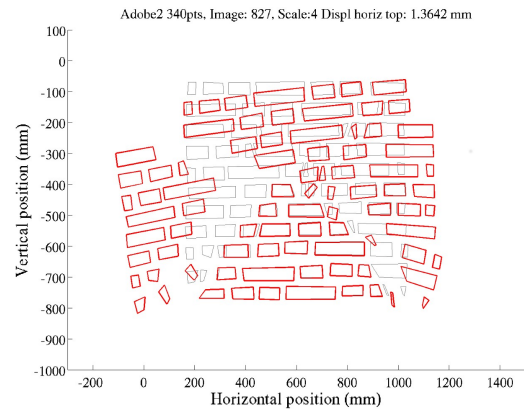


Fig. 9. Modèle par éléments discrets (comportement dynamique)



a



b

Fig 10. Échelle réelle essai cyclique (a. mur en adobe, b. champs de déplacement)

## CONCLUSION

Née d'une volonté de rapprocher les étudiants architectes et ingénieurs, une collaboration pédagogique a été créée depuis une dizaine d'année entre les deux disciplines sur Grenoble. Fort du succès de cette initiative, cette collaboration a été étendue au domaine de la recherche afin de mieux répondre aux enjeux de (re)construction para-sinistre avec un souci constant de proposer des modèles soutenables au niveau des matières premières comme au niveau social et dans un respect des cultures constructives locales. Ce travail pluridisciplinaire a permis de mettre en commun les savoirs scientifiques et les cultures locales afin d'améliorer la résilience de différents niveaux des sociétés considérées.

## BIBLIOGRAPHIE

Belinga Nko'o, C., (2014), Essais sismiques sur table vibrante, FCBA, Rapport, 93p.

Caimi, A., Vieux-Champagne, F., Garnier P., Guillaud, H., Moles, O., Daudeville, L., Sieffert, Y., Grange, S., (2013). *Savoirs traditionnels et connaissances scientifiques pour une réduction de la vulnérabilité de l'habitat rural face aux aléas naturels en Haïti*, Facts reports 9, 9p.

Caimi, A. (2014). *Cultures constructives vernaculaires et résilience*, Thèse de l'Université de Grenoble, 539p.

Daudon, D., Sieffert, Y., Albarracín O., Garino Libardi L., Navarta, G. (2014). [Adobe Construction Modeling by Discrete Element Method: First Methodological Steps](#), Procedia Economics and Finance, Volume 18, pp. 247-254.

Huygen, J.-M., (2008). *La poubelle et l'architecte - Vers le réemploi des matériaux*, Actes Sud, Collection l'impensé, 183p.

Joffroy, T., Garnier, P., Douline, A., Moles, O., (2014). *Reconstruire Haïti*, Édition CRAterre, 80p.

Langenbach, R. (2008). *Learning from the past to protect the future: Armature crosswalls*. Engineering Structures 30, pp. 2096–2100.

Sieffert, Y., Huygen, J.-M., Daudon, D., (2014). *Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering-architecture collaboration*, Journal of Cleaner Production 67, pp. 125–138.

Sieffert, Y., Vieux-Champagne, F., Grange, S., Garnier, P., Daudeville, L. (2015). *Full-field measurement with a digital image correlation analysis of a shake table test on a timber-framed structure filled with stones and earth*, *Engineering Structures*, under review.

Vieux-Champagne, F. (2013). *Analyse de la vulnérabilité sismique des structures à ossature en bois avec remplissage*, Thèse de l'Université de Grenoble, 214p.

Vieux-Champagne, F., Sieffert, Y., Grange, S., Polastri, A., Ceccotti, A., Daudeville, L., (2014). *Experimental analysis of seismic resistance of timber-framed structures with stones and earth infill*, Engineering Structures 69, pp. 102-115.



## BIOGRAPHIE

Yannick Sieffert est maître de conférence à l'Université Grenoble Alpes (UFR Phitem) et au laboratoire 3SR. Son expertise d'enseignement se situe sur le dimensionnement des structures suivant les Eurocodes (bois, acier, béton, construction mixte) et sur la collaboration architecte/ingénieur. Sa recherche s'articule sur l'expérimentation des cultures constructives vernaculaires para-sinistres.

Florent Vieux-Champagne est ingénieur et docteur en génie civil. Il a effectué une thèse et un post-doctorat (laboratoires 3SR/UJF et CRAterre/ENSAG) relatifs à l'analyse de la vulnérabilité sismique des architectures en terre. Il est actuellement en post-doctorant au laboratoire EMSI/CEA Saclay sur le recalage de modèle appliqué aux structures en BA.

Dominique Daudon est Ingénieure Génie Civil, maître de conférence au laboratoire 3SR à Grenoble. Ses enseignements concernent principalement les applications des méthodes de modélisation numérique en génie civil et mécanique ; Sa recherche est focalisée sur l'application des modèles discrets aux aléas naturels (milieux et objets discrets) notamment en Amérique latine.

Philippe Garnier, architecte, 52 ans, diplômé de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble est chercheur au Centre International de la Construction en Terre (CRAterre), membre de l'unité de recherche AE&CC (LabEx) de l'ENSAG. Il est coordinateur du programme de recherche Habitat au sein du laboratoire et de l'unité de recherche.

Jean-Marc Huygen enseigne à l'école nationale supérieure d'architecture de Marseille. Il recherche de nouveaux processus de projection architecturale et urbaine répondant aux enjeux de la soutenabilité. En particulier, il s'intéresse aux matériaux soutenables, dont les matériaux de réemploi.

Oliver Moles est enseignant-chercheur à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. Il travaille au sein du Laboratoire CRAterre-ENSAG. Son expertise se situe dans le domaine des Cultures Constructives Locales et de la pertinence de s'en inspirer pour produire un habitat de qualité, en phase avec les principes du développement soutenable.

Christian Belinga Nko'o est architecte, spécialisé DSA-terre. Il travaille comme consultant indépendant sur divers projets de développement : restauration du patrimoine bâti en terre, constructions et reconstructions post catastrophe valorisant les cultures constructives et savoir-faire locaux. Il collabore comme chercheur-associé au sein du Laboratoire CRAterre-ENSAG et enseigne à l'ENSAG.

Stéphane Grange est Maître de conférences, habilité à diriger des recherches à l'université de Grenoble Alpes. Il est responsable du Master génie civil de l'UGA et enseigne la mécanique des structures analytiques et par des méthodes de résolutions numériques. Ses recherches portent sur les modélisations numériques multi échelles dans le domaine du génie parasismique.

Laurent Daudeville est professeur à l'Université Grenoble Alpes. Il a créé et dirigé l'équipe

« Risques & Vulnérabilité » du laboratoire 3SR. Son expertise concerne essentiellement la modélisation des structures sollicitées en dynamique rapide. Il est auteur de 80 papiers dans des journaux à comité de lecture.