FACTS Reports

Field Actions Science Reports
The journal of field actions

Special Issue 9 | 2014
Haïti : Innovations locales, clés pour un développement durable et inclusif

Savoirs traditionnels et connaissances scientifiques pour une réduction de la vulnérabilité de l'habitat rural face aux aléas naturels en Haïti

Harnessing traditional and scientific knowledge to reduce the vulnerability of the rural habitat to natural hazards in Haiti

Saberes tradicionales y conocimientos científicos para una reducción de la vulnerabilidad del hábitat rural frente a los desastres naturales en Haití

Annalisa Caimi, Florent Vieux-Champagne, Philippe Garnier, Hubert Guillaud, Olivier Moles, Laurent Daudeville, Yannick Sieffert and Stéphane Grange

OpenEdition Journals

Electronic version
URL: http://journals.openedition.org/factsreports/2827
ISSN: 1867-8521

Publisher
Institut Veolia

Electronic reference
Annalisa Caimi, Florent Vieux-Champagne, Philippe Garnier, Hubert Guillaud, Olivier Moles, Laurent Daudeville, Yannick Sieffert and Stéphane Grange, « Savoirs traditionnels et connaissances scientifiques pour une réduction de la vulnérabilité de l'habitat rural face aux aléas naturels en Haïti », *Field Actions Science Reports* [Online], Special Issue 9 | 2014, Online since 27 December 2013, connection on 02 May 2019. URL : http://journals.openedition.org/factsreports/2827

Creative Commons Attribution 3.0 License

© Auteur(s) 2013
Les textes sont disponibles sous licence Creative Commons
http://factsreports.revues.org/2827
Publié le 27 décembre 2013

FACTS Reports

Savoirs traditionnels et connaissances scientifiques pour une réduction de la vulnérabilité de l'habitat rural face aux aléas naturels en Haïti

Annalisa Caimi[1], Florent Vieux-Champagne[2], Philippe Garnier[3], Hubert Guillaud[4], Olivier Moles[5], Laurent Daudeville[6], Yannick Sieffert[7] et Stéphane Grange[8]

[1]Architecte doctorante, laboratoire CRAterre, Unité de Recherche AE&CC, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France. annalisa.caimi@gmail.com

[2]Ingénieur Docteur, UJF-Grenoble 1, Grenoble-INP, CNRS UMR 5521, 3SR Lab, Grenoble F-38041, France. florent.vieux.champagne@gmail.com

[3]Enseignant chercheur, coordinateur du projet ReparH, laboratoire CRAterre, Unité de Recherche AE&CC, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France. craterre.pgarnier@club-internet.fr

[4]Professeur HDR, Directeur scientifique de l'Unité de Recherche AE&CC - laboratoire CRAterre, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France. guillaud.h@grenoble.archi.fr

[5]Enseignant chercheur, laboratoire CRAterre, Unité de Recherche AE&CC, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France. oriamole@club-internet.fr

[6]Professeur, UJF-Grenoble 1, Grenoble-INP, CNRS UMR 5521, 3SR Lab, Grenoble F-38041, France laurent.daudeville@3sr-grenoble.fr

[7]Maître de conférences, UJF-Grenoble 1, Grenoble-INP, CNRS UMR 5521, 3SR Lab, Grenoble F-38041, France. yannick.sieffert@3sr-grenoble.fr

[8]Maître de conférences, UJF-Grenoble 1, Grenoble-INP, CNRS UMR 5521, 3SR Lab, Grenoble F-38041, France. yannick.sieffert@3sr-grenoble.fr

Résumé. Suite au séisme qui frappa Haïti en 2010, l'observation du bâti a permis de constater la pertinence de certaines techniques constructives traditionnelles qui ont été en mesure de limiter l'exposition des occupants au risque de graves atteintes physiques. L'identification et la prise en compte des spécificités de l'habitat et des savoir-faire existants constituent les bases pour entamer une amélioration des modes de construction et renforcement des compétences en vue d'une réduction de la vulnérabilité à long terme des communautés locales. Cet article présente deux travaux de recherche abordant, selon deux approches complémentaires, la problématique de l'habitat en contexte à risque. L'un, en architecture, concerne une méthodologie participative pour l'analyse des pratiques constructives locales en vue de leur valorisation et amélioration technique. L'autre, en ingénierie, se focalise sur une étude scientifique expérimentale et numérique, concernant un système constructif utilisé pour la reconstruction post-séisme.

Mots clés. Haïti, Architecture vernaculaire, Reconstruction, Aléas naturels, Rural, Cultures constructives

1. Introduction

Le 12 janvier 2010, un séisme frappa Haïti faisant plus de 200.000 victimes et affectant trois millions de personnes (EM-DAT). Les observations effectuées à la suite de cet événement ont permis de constater que, en milieu rural, les constructions traditionnelles ont exposé leurs occupants à un risque réduit, du fait d'une vulnérabilité limitée aux séismes. En milieu urbain, des observations similaires ont été effectuées en relation à des bâtiments employant des techniques semblables ; ceux-ci constituent cependant une portion réduite du bâti existant.

Dans le cadre du projet de recherche ReparH (Reconstruire parasinistre en Haïti), cofinancé par l'Agence Nationale de la Recherche (France), une collaboration scientifique a été mise en place entre chercheurs du champ de l'architecture (CRAterre-ENSAG) et de l'ingénierie (3SR-UJF) ainsi que l'organisation haïtienne GADRU, pour mener une

réflexion visant à appuyer le développement de stratégies de reconstruction valorisant les ressources et les cultures constructives locales.

Cet article présente les recherches en cours dans le cadre de deux thèses de doctorat qui abordent la question de l'habitat en contexte à risque d'un point de vue méthodologique et technique. Elles s'appuient sur le travail de terrain mené par des organisations locales et internationales, dans le cadre de programmes de reconstruction post-séisme, et visent à y contribuer de manière complémentaire : d'une part, par le développement et l'application d'une méthodologie d'analyse permettant d'identifier les caractéristiques du bâti, les ressources et les savoirs existants ; d'autre part, par l'étude scientifique d'un système constructif employé pour la reconstruction et basé sur l'utilisation de matériaux localement disponibles.

2. Analyse des pratiques constructives locales

Entre 2010 et 2012, des analyses des pratiques constructives locales ont été conduites en collaboration avec des associations haïtiennes, dans les départements de l'Ouest et du Sud-Est d'Haïti. Le travail a concerné les zones rurales de Cap Rouge (Jacmel), Grande Rivière (Carrefour), Clémansso et Bonga (Kenskoff), affectées par le séisme de 2010. Ci-après, certains des éléments qui en découlent sont présentés. Ils se réfèrent en particulier aux caractéristiques constructives du bâti existant ainsi qu'à des dispositifs qu'il présente et qui se rapportent à une réduction de sa vulnérabilité aux aléas locaux (cyclones et séismes).

2.1 Typologies constructives

Dans les zones analysées, les habitations employant une structure à ossature en bois sont les plus répandues. Elles se basent sur une trame régulière de poteaux constituant le squelette du bâtiment, dont le remplissage est réalisé avec des techniques différentes selon les matériaux disponibles localement.

Le *clissage* est la technique la plus ancienne. Elle consiste en un tressage horizontal de lattes de palmier formant des panneaux insérés entre les éléments verticaux de l'ossature en bois. Parfois laissés apparents, ces panneaux sont le plus souvent recouverts sur leurs deux côtés par un mortier de terre ou un mélange de terre et chaux (Fig. 1a, 1b et 1c). Cette technique permet de réaliser des structures légères qui ont démontré un degré réduit de mise en danger des occupants, grâce au tressage qui évite le possible écroulement de gros blocs (Cuny 1982). Suite au séisme, de par la rapidité de son exécution et au bon comportement pendant le séisme, le clissage a été réutilisé spontanément par la population pour la réalisation d'abris d'urgence et la réparation de maisons.

La technique du *tiwoch* (« petites roches » en créole) caractérise la plupart des habitations rurales des zones considérées et elle est encore couramment pratiquée pour la réalisation de nouvelles constructions. Elle consiste au remplissage d'une structure porteuse en bois, avec une maçonnerie de pierres liées par mortier de terre, terre et chaux ou ciment, souvent enveloppant la structure à l'extérieur (Fig. 1d et 1e).

Des planches clouées à l'extérieur des poteaux distinguent la troisième technique, appelée *palmiste,* autrefois très répandue, elle est récemment devenue économiquement inaccessible à cause de la rareté et du coût élevé du bois (Fig. 1f).

Figures 1. Techniques de construction :

(a) ossature en bois avec clissage, (b) clissage, tressage, (c) clissage, mortier appliqué sur les deux côtés du panneau ; (d) ossature en bois avec tiwoch ; (e) tiwoch, endommagement dû au séisme ; (f) palmiste, abris d'urgence post-séisme réalisée par la population. © A. Caimi

2.2 Dispositifs vernaculaires parasinistres

Les états des lieux effectués après le tremblement de terre ont permis de constater que les bâtiments traditionnels ont généralement subi des dommages localisés, souvent conséquence d'une association des sollicitations sismiques à une détérioration structurelle antérieure. Ces dommages n'ont la plupart du temps qu'affecté la structure secondaire, préservant la structure porteuse et les parties les plus coûteuses du bâtiment. Ils n'ont de fait provoqué que peu de victimes et, de par la nature des endommagements, nombreux bâtiments résultent réparables avec des investissements techniques et économiques limités.

Les analyses conduites ont souvent permis de constater la

mise en place, par les constructeurs locaux, de dispositifs permettant d'améliorer le comportement structurel des bâtiments, en réduisant ainsi leur vulnérabilité aux aléas naturels affectant ces régions. Ces mesures, intégrées de manière préventive au bâti, se révèlent efficaces non seulement envers des phénomènes récurrents, tels que les cyclones, mais également envers ceux moins fréquents, comme les tremblements de terre (Mora et al. 2010).

Tout d'abord, la faible hauteur sous toiture des habitations vernaculaires limite la prise au vent ; dans le même temps le déplacement du centre de gravité vers le bas favorise également une bonne résistance aux séismes. À l'intérieur, des contreventements horizontaux positionnés aux quatre angles de la poutre sablière solidarisent la partie supérieure de l'ossature en bois (Fig. 2a). À ces aspects s'ajoute la flexibilité de l'ensemble de la structure déterminée par l'emploi d'assemblages à tenon et mortaise entre les éléments en bois, en particulier pour les liaisons poteaux/poutres.

Dans certains cas, les constructions se caractérisent par l'application de plusieurs techniques pour la réalisation des murs, ainsi que par l'utilisation de matériaux plus légers dans leurs parties supérieures. Jusqu'à une hauteur d'environ 1m, l'ossature en bois est enveloppée par une maçonnerie de pierres, tandis que dans la partie supérieure des panneaux en clissage ou un remplissage fin en maçonnerie sont mis en oeuvre entre les poteaux (Fig. 2b). Ce principe présente un double avantage. D'une part, en cas d'effondrement partiel des murs, les occupants ne sont pas exposés à des chutes dangereuses de pierre. D'autre part, l'utilisation de matériaux durables, mais demandant des efforts économiques et techniques importants, se limite aux parties les plus exposées, tandis que les matériaux plus économiques, mais plus rapidement dégradables, sont employés pour les parties hors contact avec l'eau.

Figure 2. Grande Rivière : (a) contreventements de l'ossature ; (b) technique mixte pour les murs, (c) déconnexion de la structure et contreventement de la galerie ; (d) planches perforées entre les murs et la toiture; (e) végétation entourant les habitations comme barrière coupe-vent © A. Caimi

Pour augmenter la résistance à l'impact des vents violents, plusieurs dispositifs correspondent à des principes préconisés par le génie paracyclonique actuel (Barré et al. 2011). Une pente d'environ 30° pour la toiture ainsi que des débords réduits permettent de diminuer la prise du vent. La désolidarisation entre la couverture du corps principal d'habitation et celle de la galerie répond au principe de déconnexion structurelle entre structure primaire et secondaire (Fig. 2c).

En outre, certains éléments architecturaux ne répondent pas uniquement à des nécessités fonctionnelles ou esthétiques, mais assurent également une fonction structurelle. En plus de fournir un endroit protégé pour conserver les biens, le grenier fermé apporte une plus grande résistance à la toiture, en particulier dans le cas d'une couverture à deux pentes. Parfois, la galerie est clôturée avec des planches en bois positionnées en croix entre les poteaux. Ces derniers reposent sur le soubassement en maçonnerie, sans atteindre le niveau du sol, et les contreventements sont employés à partir du niveau supérieur du soubassement. Ceux-ci solidarisent la structure qui, même en cas d'écroulement du soubassement, maintient une certaine cohérence et évite l'effondrement (Fig. 2c). Toutefois, ces éléments sont utilisés essentiellement pour la galerie. Seulement parfois ils ont été observés comme intégrés à la structure du corps d'habitation, mais uniquement dans la partie supérieure des constructions utilisant des techniques mixtes pour les murs. En outre, entre la partie supérieure des murs et la toiture, des planches en bois décorées avec des perforations contribuent à rééquilibrer, lors des cyclones, la différence de pression entre intérieur et extérieur, réduisant ainsi les risques d'arrachement de la toiture (Fig. 2d).

Les bâtisseurs de ces architectures ont, de fait, intégré des mesures de réduction de la vulnérabilité se rapportant à des

échelles multiples : du détail constructif, aux formes architecturales jusqu'à l'aménagement de l'environnement.

2.3 Analyse de l'existant et renforcement des compétences

Les informations présentées ci-dessus dérivent de la mise en œuvre d'une méthodologie d'analyse, développée dans le cadre d'une thèse en architecture, qui est spécifiquement référée aux pratiques constructives et de résilience, élaborée par les populations habitant des régions exposées à des aléas naturels. Cette méthodologie se fonde sur une démarche participative (Chambers 2007), impliquant activement les acteurs locaux (populations, constructeurs, opérateurs de terrain et techniciens) et considérant comme source d'information non seulement les bâtiments existants, mais également les individus et les groupes impliqués dans leur conception, réalisation et entretien. Les données qui en découlent constituent des éléments de référence essentiels pour l'élaboration, la validation et la mise en oeuvre de principes techniques et opérationnels d'amélioration des technologies connues localement. Et ceci en les inscrivant dans la continuité du processus d'évolution et réalisation de l'habitat d'une communauté. En ce faisant, les savoirs et pratiques constructives ainsi que les ressources et les stratégies de résilience d'une communauté deviendraient le véritable point de départ pour une réduction à long terme de sa vulnérabilité.

Analyser et comprendre les pratiques constructives locales permet d'identifier des solutions techniques et des modalités pour leur mise en œuvre qui se fondent sur, et qui soutiennent, les ressources et les dynamiques existantes. Tel est le cas d'un programme de reconstruction conduit par quatre organisations haïtiennes, membres de la PADED (Plateforme d'Agroécologie et Développement Durable), avec un appui technique et financier de l'organisation allemande Misereor. Ce projet porte sur la construction d'habitats permanents et évolutifs, s'inspirant des typologies architecturales et constructives locales pour proposer des améliorations et des nouvelles solutions techniques sur la base des matériaux localement disponibles. À partir des techniques traditionnelles et de l'intégration d'éléments parasinistres identifiés dans les architectures locales (tels que le contreventement de l'ossature ou l'utilisation de matériaux plus légers pour la partie supérieure des murs), ce projet propose un système constructif basé sur l'utilisation d'une ossature en bois avec un remplissage en clissage, maçonnerie de pierres ou en briques de terre crue (Fig. 3a et 3b).

Figure 3. Chantiers du programme de reconstruction soutenu par Misereor : (a) ossature bois avec remplissage en clissage et briques en terre crue ; (b) ossature bois avec remplissage en maçonnerie de pierres avec mortier terre. © A. Caimi

En collaboration avec ces organisations, des activités de sensibilisation et de formation à l'analyse des cultures constructives locales ont été entreprises à partir d'avril 2012. Une phase pilote a été lancée avec l'association GADRU (Groupe d'Appui au Développement Rural), permettant à ses techniciens d'acquérir des compétences spécifiques pouvant être par la suite partagées et transmises aux autres membres de la plateforme. Une première phase de diffusion s'est adressée aux techniciens des trois autres organisations PADED engagées dans la reconstruction post-séisme. Ensuite, un séminaire de sensibilisation à l'identification et à la valorisation des cultures constructives locales a réuni des membres d'associations de la PADED, travaillant en différentes zones du pays et intéressés à mettre en œuvre cette approche de manière préventive.

En soutien à des programmes de réhabilitation post-séisme, les analyses effectuées en Haïti ont donc répondu à un double objectif. D'une part, acquérir des informations détaillées sur les constructions et les pratiques locales, contribuant ainsi à une amélioration des solutions techniques et méthodologiques des programmes en cours. D'autre part, permettre aux acteurs haïtiens de valoriser et réactiver des savoirs locaux, tout en acquérant des compétences complémentaires pour conduire de façon autonome une analyse de l'habitat existant, lors de futures activités relatives au domaine de la construction.

3. Etude expérimentale et numerique d'un type de structure mise en place pour la reconstruction post seisme

3.1 Collaboration entre chercheurs ingénieurs et chercheurs architectes

Comme suite à d'autres séismes majeurs dans différentes régions du monde, les constructions traditionnelles issues de cultures constructives locales ont une nouvelle fois apporté la preuve d'un bon comportement lors du séisme du 12 janvier 2010 en Haïti (Langenbach 2008). Mais ces intelligences constructives locales ne sont pas ou peu reconnues par les acteurs officiels et internationaux de la construction, principalement du fait de l'absence de données scientifiques. Ce constat est à l'origine de la collaboration entre les chercheurs

(architectes) du laboratoire CRAterre-ENSAG et ceux du laboratoire 3SR-UJF (ingénieurs). Cette complémentarité associe la double compétence entre la connaissance des différentes ingéniosités des cultures constructives locales et celle des caractéristiques mécaniques des matériaux et des structures.

En Haïti, les architectes du CRAterre interviennent auprès de plusieurs Organisations Non Gouvernementales qui réalisent des projets de construction et de réhabilitation dans les milieux ruraux et périphéries urbaines et sur lesquels s'est basée l'étude des ingénieurs du 3SR. Le fondement de ces programmes repose sur un apport durable pour la population en se basant sur la valorisation des cultures constructives locales. Davantage d'informations concernant cette collaboration pourront être trouvées dans Caimi & al. 2013.

L'idée première est de valoriser l'utilisation des ressources et des savoir-faire locaux. Pour ce faire, l'observation du bâti traditionnel et les échanges avec les habitants sont les moyens de bien comprendre quels sont les matériaux disponibles sur place, les techniques constructives utilisées, les modes d'organisation de production et de construction, ainsi que les coûts de construction. En milieu rural, un examen visuel montre que les populations ont souvent un revenu très modeste. Les techniques de construction utilisées sont liées aux spécificités des zones géographiques (topographie, ressources naturelles disponibles, cultures, richesses, etc.) où elles se sont développées. L'infrastructure routière quasi inexistante rend le transport des matériaux très compliqué, rendant onéreuse l'utilisation de la charpente métallique et du béton armé, dont les besoins en métal, eau et sable ne sont pas toujours compatibles avec la distance de leur ressource. Les haïtiens utilisent donc pour bâtir les matériaux disponibles sur place: pierres, terre et dans une moindre mesure, le bois. Lorsqu'il n'est pas disponible, le transport de ce dernier reste encore relativement facile à gérer.

La seconde idée est de réutiliser les intelligences constructives repérées lors des enquêtes, comme le système de contreventement des pannes sablières (Fig. 1a) et d'apporter dans le même temps des améliorations à l'existant, comme par exemple de pallier la principale faiblesse des systèmes constructifs locaux en modifiant le système d'ancrage au sol et de contreventement de la superstructure. Ainsi, le système de poteaux directement ancrés dans le sol, et qui finissent par s'altérer assez rapidement à cause de l'humidité, est remplacé par un système d'ancrage des poteaux sur un soubassement et l'ajout d'un système de contreventement par la mise en place de croix de Saint André (Fig. 5c).

Dans les deux cas, l'analyse des pratiques constructives locales réalisée par les chercheurs architectes de CRAterre-ENSAG a été un moyen très pertinent d'identifier ces intelligences constructives.

Les résultats du travail décrit ci-dessus ont permis de développer plusieurs types de maisons modèles, compromis entre leurs coûts, le respect de la culture locale et leurs performances para-sinistres :

1. Structure à ossature en bois contreventée par croix de Saint André et avec remplissage en maçonnerie de pierres. (Fig. 3b et 4b)
2. idem mais avec remplissage en torchis ou en maçonnerie d'adobes (Fig. 3a)
3. maçonnerie chaînée avec des pierres naturelles (Fig. 4a).

Figure 4. Programme de reconstruction, ONG Misereor, chantiers : (a) maçonnerie chaînée avec des pierres naturelles; (b) maison terminée à ossature bois avec remplissage en maçonnerie de pierres avec mortier terre. © C. Belinga et E. Cauderay

Le travail de la thèse effectué au laboratoire 3S-R consiste à étudier d'un point de vue parasismique l'une de ces typologies de structure. Peu de littérature scientifique existe sur le sujet (Ali & al. 2012, Ceccotti & al. 2006 et Meireles & al. 2012), ce qui a donc conduit à faire le choix d'une typologie particulière. L'enjeu majeur étant de pouvoir apporter une preuve scientifique de la pertinence parasismique de ces constructions directement inspirées des cultures constructives locales.

La solution 1 a été retenue pour l'étude principale de la thèse car elle est la plus utilisée dans les projets de reconstruction cités précédemment. Les autres solutions font l'objet d'études complémentaires au travers d'une analyse expérimentale paramétrique. Ces recherches ont été étroitement menées entre les chercheurs ingénieurs de 3SR et architectes de CRAterre permettant ainsi de répondre à des problématiques techniques du terrain et de réaliser des échantillons fidèles aux constructions *in-situ*.

3.2 Approche multi-échelles

Afin d'appréhender le comportement d'une structure à ossature en bois contreventée par croix de Saint André et avec remplissage en maçonnerie de pierres, l'étude se base sur une approche multi-échelle permettant d'analyser le comportement global et local d'une maison soumise à un séisme (assemblage, cellule élémentaire, mur, maison complète, cf. Fig. 5).

Le comportement à chaque échelle fourni les informations nécessaires pour prévoir celui de l'échelle supérieure. À chaque niveau, une étude expérimentale a été réalisée, permettant d'apporter des données de comparaison pour développer le modèle numérique qui permettra de prédire le comportement de la maison. Cette approche est également utilisée dans Richard & al. 2002, Boudaud & al. 2010 et dans Folz & al. 2001.

3.2.1 Campagne expérimentale

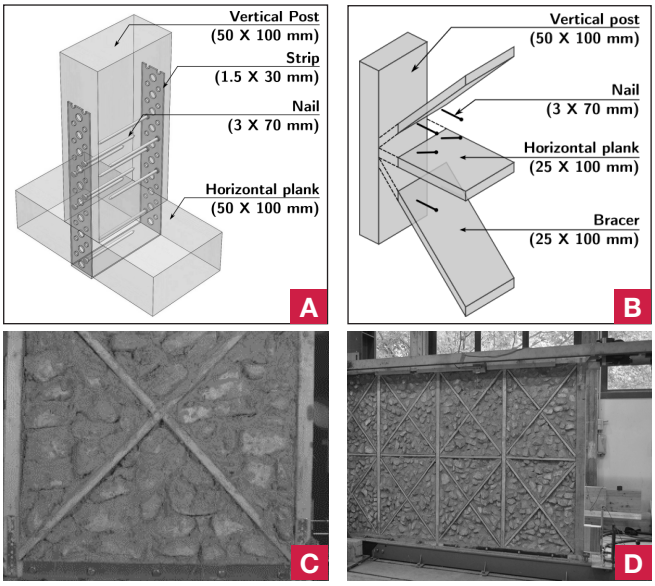

Figure 5. Approche multi-échelle : (a) assemblage principal ; (b) assemblage secondaire ; (c) cellule élémentaire ; (d) mur

L'assemblage étudié correspond à une connexion poteau-poutre maintenue par un feuillard métallique perforé cloué (cf. Fig. 5a). Ces assemblages gouvernent le comportement parasismique du mur. Les connexions entre diagonales et planches horizontales constituent les connexions secondaires (cf. Fig. 5b). Elles ont une influence limitée sur ce comportement dans la mesure où elles se déforment peu par rapport aux assemblages principaux (ce qui a pu être observé lors des essais sur mur) et pour cette raison n'ont pas été étudiées en première approche.

La connexion poteau-poutre a été testée en traction directe et en cisaillement par trois essais monotones et un essai cyclique. L'influence du nombre de pointes et leur type (lisse ou cranté, Fig. 6) a également été étudiée.

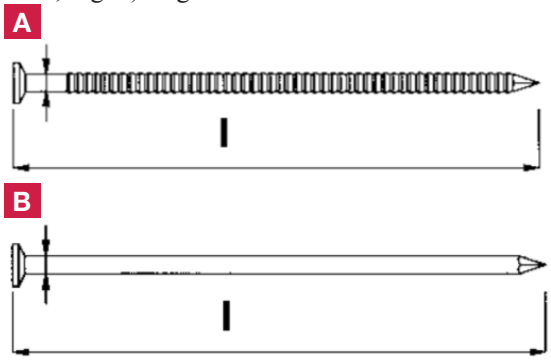

Figure 6. Type de pointe : (a) pointe crantée ; (b) pointe lisse

Ensuite, en assimilant le mur à un assemblage de cadres de bois contreventés par croix de Saint-André (voir Fig. 5c et 5d) on peut le modéliser par une association de cellules élémentaires. L'étude réalisée à cette échelle intermédiaire de la structure permet de comparer facilement l'influence de plusieurs paramètres : type de remplissage, apport de contreventement ou autres détails techniques. Comme cela a été décrit ci-dessus, plusieurs types de structures sont mis en place sur le terrain. Il est donc intéressant de pouvoir apprécier la variation du comportement de la structure selon la technique constructive utilisée. Pour cela, l'échelle de la cellule s'avère idéale car elle permet de réaliser des essais économiques et rapides à la différence de ceux à l'échelle du mur.

Enfin, plusieurs spécimens de murs complets avec et sans remplissage ont été testés. Ils permettent d'obtenir les données expérimentales nécessaires pour pouvoir valider, d'une part les observations faites aux échelles précédentes (influence du remplissage et du contreventement) et d'autre part la modélisation numérique du mur utilisant un assemblage de cellules élémentaires.

Les résultats de cette campagne expérimentale sont présentés dans Vieux-Champagne & al. 2012a.

3.2.2 Modélisation numérique

L'idée principale est de s'appuyer sur les résultats expérimentaux afin de valider à chaque échelle le modèle numérique illustrée par la flèche « contrôle des données » entre numérique et expérimental dans la Fig. 7. Cette étude numérique est détaillée dans Vieux-Champagne & al. 2012b.

A l'échelle de la connexion, on utilise directement les données expérimentales dans un « modèle non-linéaire » qui reproduit le comportement hystérétique (Fig. 8) des assemblages. Ensuite, une modélisation détaillée aux éléments finis est réalisée à l'échelle de la cellule élémentaire (indiqué par « 1 » dans la Fig. 8) afin de vérifier (toujours par rapport aux données expérimentales) que chaque élément (connecteurs, diagonales, remplissage, etc.) joue bien le rôle qui lui a été attitré. Puis, un macro-élément est modélisé (modèle simplifié de la cellule, indiqué par « 2 » dans la Fig. 8) permettant, par leur association, de calculer très rapidement le comportement du mur sous chargement statique ou dynamique. Le macro-élément est représenté avec un ressort en son milieu sur la figure 7 afin de signifier qu'il possède une loi de comportement (loi de la cellule élémentaire complète) du même type que celle présentée sur la figure 8.

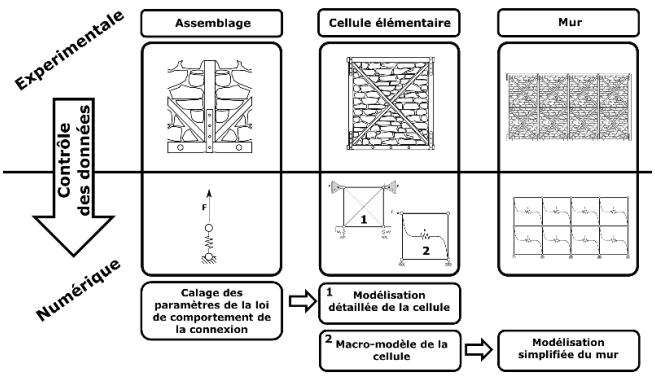

Figure 7. Principe de l'étude numérique

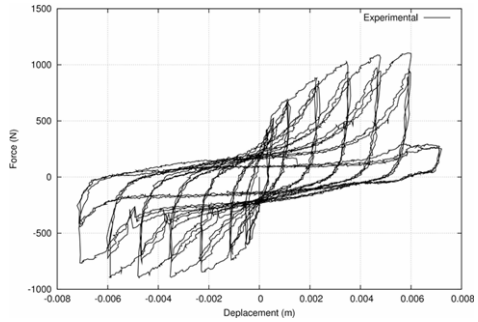

Figure 8. Exemple de comportement hystérétique force-déplacement

3.3 Perspectives

Pour que ce travail puisse permettre de prédire le comportement d'une maison sous une sollicitation sismique, il est nécessaire que cette échelle soit étudiée. Pour ce faire, des essais sur table vibrante (au FCBA de Bordeaux) ont été réalisés sur une structure complète (Fig. 9), sur les murs et les cellules élémentaires. Ces données expérimentales obtenues permettront de valider le modèle numérique en dynamique et à l'échelle de la structure complète.

Figure 9. Essai sismique sur table vibrante, FCBA de Bordeaux, avril 2013

Ces tests ont également prouvé l'excellent comportement de cette maison face à l'aléa sismique dont le signal initial qui a été appliqué à la structure correspondait à une équivalence du séisme de janvier 2010 et dont l'accélération. la vitesse et le déplacement ont été multipliés par 2 puis par 3.

4. Conclusions

Dans les régions affectées par des aléas naturels récurrents, les architectures vernaculaires révèlent souvent une grande ingéniosité de leurs constructeurs dans l'utilisation des ressources disponibles et dans l'élaboration de dispositifs techniques réduisant leur vulnérabilité aux risques locaux (Ferrigni et al. 2005 ; Langenbach 2000). Toutefois, la pertinence et le potentiel de ces solutions restent encore marginalement reconnus par les milieux scientifiques et opérationnels à cause d'un manque de données scientifiques et d'analyses spécifiques relatives à leurs caractéristiques et comportement effectifs, suite à l'impact de phénomènes naturels.

4.1 Contribuer à la résilience par la recherche

En relation à l'analyse des cultures constructives locales, le travail présenté répond à des objectifs multiples. Tout d'abord, permettre aux techniciens et opérateurs de terrain de disposer d'un outil pour une analyse systémique de l'habitat, favorisant l'acquisition de données de référence pour la définition d'approches techniques et opérationnelles fondées sur les ressources et capacités déjà existantes. Ensuite, permettre à des chercheurs du domaine technique de disposer d'informations détaillées à partir desquelles étudier le comportement du bâti vernaculaire et identifier les améliorations éventuelles à apporter, en accord aux contraintes du terrain. Enfin, permettre la constitution et le renforcement de compétences et connaissances relatives aux mesures de réduction de la vulnérabilité présentes dans les pratiques vernaculaires. Cela favorise une mise en œuvre de cette approche non seulement dans la réhabilitation post-catastrophe, mais également et surtout de manière préventive, à partir d'une compréhension technique et scientifique des solutions que les populations locales ont développées.

En relation avec l'analyse sismique expérimentale et numérique, le travail complète le précédent en apportant une réponse scientifique relative à un système issu de l'analyse des cultures constructives locales. Cela apporte un appui considérable pour les développements de projets utilisant ce type de structure. Actuellement, grâce à leur coût réduit et leur pertinence par rapport aux problématiques des milieux ruraux (et péri-urbain) d'Haïti, l'utilisation de ces ossatures bois avec remplissage se développe rapidement si bien que le MTPTC (Ministère des Travaux Public, Transport et Communication) du pays a validé le système à ossature en bois contreventé par croix de Saint-André.

Il permet également de répondre à beaucoup de questions techniques que peuvent se poser les constructeurs.

Enfin, il permettra de pouvoir apporter des données expérimentales pour une étude numérique permettant de prédire le comportement de ces structures sous un chargement sismique.

4.2 Synergies entre acteurs et milieux de travail

Maintenu tout au long de la recherche, le lien entre milieu académique et milieu opérationnel a permis d'une part d'adapter l'articulation du travail en fonction des besoins réels du contexte rural haïtien, et d'autre part de contribuer de manière directe aux activités des acteurs sur place.

Conciliant approche scientifique et réalités de terrain, cette collaboration pluridisciplinaire entre architectes et ingénieurs, et pluriculturelle entre acteurs de la recherche et praticiens locaux, profite de la complémentarité des compétences de chaque partenaire afin d'identifier des stratégies favorisant une amélioration de la résilience des communautés à partir des savoirs, dynamiques et ressources locales.

Cette démarche permet d'une part d'élargir les critères considérés au niveau de la recherche, ancrant ces résultats aux contraintes et potentiels du terrain, et d'autre part

d'explorer et expérimenter des approches méthodologiques et des propositions techniques qui puissent être accessibles et appropriables par les populations locales, en contribuant à renforcer leurs capacités à faire face aux défis posés par le milieu qu'elles habitent.

5. Remerciements

Les auteurs remercient : le soutien de l'Agence de Nationale de la Recherche (ANR) sous la référence ANR-10-HAIT-003 ; le centre de recherche italien (CNR-Ivalsa) qui a permis la réalisation des essais à l'échelle du mur ; le centre technique FCBA de Bordeaux qui a rendu possible la réalisation d'essais sur table vibrante ; l'association GADRU, les organisations haïtiennes membres de la plateforme PADED et de la PAPDA ainsi que Misereor, le Secours Catholique -Caritas France et les autres partenaires locaux qui, grâce à leur engagement et participation, ont contribué à ce projet de recherche.

Bibliographie

Ali, Q. Schacher, T. Ashraf, M. Alam, B. Naeem, A. Ahmad, N. & Umar, M. 2012. In-Plane Behavior of Full Scale Dhajji Walls (Wooden Braced with Stone Infill) under Quasi Static Loading. Earthquake Spectra.

Audefroy, J. F. 2011. Haiti: post-earthquake lessons learned from traditional construction. In Environment & Urbanization 23 (2) : 447-462.

Barré, C. de la Foye, A. & Moreau, S. 2011. Conception paracyclonique. À l'usage des architectes et ingénieurs. Villefontaine : Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau.

Boudaud, C. Hameury, S. Faye, C. & Daudeville, L. 2010. European seismic design of shear walls : experimental and numerical tests and observations. World Conference on Timber Engineering Proc.

Caimi, A & Moles, O. 2012. Disaster risk reduction through local knowledge and capacities enhancement. XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Heritage, Lima.

Caimi, A. & Vieux-Champagne, F. & Garnier, Guillaud, H. &
Moles, O. & Grange, S. & Sieffert, Y. & Daudeville L. 2013. Traditional and scientific knowledge for a sustainable vulnerability reduction of rural housing in Haiti. In : Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges. Guimarães : CRC Press / Taylor & Francis, 2013. p. 1807-1815

Ceccotti, A. Faccio, P. Nart, M. S. & Simeone, P. 2006. Seismic behaviour of historic timber-frame buildongs in the italian dolomites. ICOMOS International Wood Committee, 15th International Symposium. Istanbul and Rize (Turkey).

Chambers, R., 2007. From PRA to PLA and Pluralism: Practice and Theory, Brighton: Institute of Development Studies.

Cuny, F. C. 1982. Improvement of rural housing in Haiti to withstand hurricanes. Dallas : Intertect, OXFAM Regional Office for the Caribbean, Haitian PVO Disaster Preparedness Committee.

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgique.

Ferrigni, F. et al., 2005. Ancient Buildings and earthquakes, The Local Seismic Culture approach: principles, methods, potentialities. Bari: Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Edipuglia.

Folz, B. & Filiatrault, A. 2001. Cyclique analysis of wood shear walls. Journal of Structural Engineering, 127(4): 433-441.

Garnier, P. Moles, O. Caimi, A. Gandreau, D. Hofmann, M., 2011, Aléas naturels, catastrophes et développement local, Villefontaine: CRAterre Editions.

Langenbach, R. 2000. Intuition from the Past: What Can We Learn From Traditional Construction. In Proc. International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings ; Istanbul, 16-18 November 2000.

Langenbach, R. Kelley, S. Sparks, P. Rowell, K. Hammer, M. and Olsen, J.J. 2010. Preserving Haiti's Gingerbread Houses. 2010 Earthquake Mission Report. New York: World Monuments Fund, ICOMOS.

Langenbach, R. 2008. Learning from the past to protect the future : Armature Crosswalls. Engineering Structures, 30: 2096-2100.

Meireles, H. Bento, R. Cattari, S. & Lagomarsino, S. 2012. A hysteretic model for "frontal" walls in Pombalino buildings. Bulletin of Earthquake Engineering.

Mora, S. Roumagnac, A. Asté, J.-P. Calais, E. Haase, J. Saborio, J. Marcello, M. Milcé, J.-E. and Zahibo, N. 2010. Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti (NATHAT). Port-au-Prince: Government of Haiti, World Bank, Inter-American Development Bank, United Nations System.

Richard N., Daudeville L., Prion H., Lam F. 2002. Timber shear walls with large openings: experiment and prediction of the structural behavior. Canadian Journal of Civil Engineering. 29: 713-724

Vieux-Champagne, F. Grange, S. Sieffert, Y. Daudeville, L. 2012a. Experimental analysis of seismic resistance of shear wall in traditional Haitian houses. World Conference on Earthquake Engineering Proc.

Vieux-Champagne, F. Grange, S. Sieffert, Y. Daudeville, L. 2012b. Multi-scale analysis of timber framed structures filled with earth and stones. XII International Conference on Computanional Plasticity Proc.