



JOURNAL DU PROGRAMME DE RECHERCHE N°2

Octobre 2017

SOMMAIRE

PAGE 1

DEUXIÈME ANNÉE DU
PROJET : AVANCÉES
ET ENSEIGNEMENTS

PAGE 2

DES DONNÉES HISTO-
RIQUES ET GÉOLO-
GIQUES

PAGE 3

TOUT SUR LA MAISON
DE VÉNUS

PAGE 4

RECHERCHE DES SO-
LUTIONS DE RESTAU-
RATION DURABLE

PAGE 5

ACTIONS SUR LE
SITE DE VOLUBILIS

PAGE 6

ACTIVITÉS DE COM-
MUNICATION ET DE
VALORISATION

PAGE 7

SYNTHÈSE DE
L'ÉTUDE DES PU-
BLICS

PAGE 8

PUBLICATIONS/
DIFFUSION DES
CONNAISSANCES

DEUXIÈME

ANNÉE DU PROJET : AVANCÉES ET ENSEIGNEMENTS

Au cours de sa deuxième année, le projet Volubilis a fortement progressé grâce au travail collectif de ses partenaires. Des actions ont été menées concernant les deux piliers de ce projet : la recherche scientifique et la valorisation du site.

Pour la recherche scientifique, l'objectif est d'établir le « carnet de santé » du site à travers son historique, son état actuel et les meilleurs moyens à préconiser pour sa conservation. Les divers matériaux de construction du site sont identifiés et étudiés. Une cartographie des dégradations touchant les monuments et les statues est établie selon les normes internationales. L'analyse des données météorologiques couplée aux caractérisations des matériaux prélevés (pierres et mortiers de construction) a permis d'établir les principales causes des dégradations.

Dans le cadre des deux thèses de doctorat en cours en cotutelle internationale, (Université d'Orléans / Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Meknès, ENSAM), des travaux de recherche traitant de la conservation du site Volubilis sont réalisés. La thèse de Monsieur Issam Alil est entièrement consacrée aux méthodes de diagnostic des pathologies des structures et de l'évaluation des restaurations effectuées. Cette thèse sera soutenue publiquement durant le mois de décembre 2017. La thèse de Madame Dalal Badreddine, financée entièrement par le projet, traite principalement des méthodes de restauration des monuments. Des mortiers de restauration durable et compatibles avec les pierres de construction du site sont développés.

Une étude multi-échelles des solutions adoptées pour la restauration au laboratoire a débuté sur des murets à échelle réduite. Le comportement et le vieillissement des murets de laboratoire sont suivis dans une enceinte à température et humidité contrôlées.

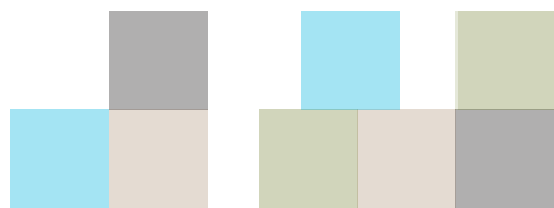
A cours de l'année 2018, des pilotes de restauration sur site seront construits afin de compléter et de valider les données obtenues en laboratoire. Ces recherches sont un préalable pour établir un cahier des charges pour la restauration et le remontage effectif de certaines constructions telles que la maison de Venus.

Durant le mois de mai 2017, le site a été entièrement photographié grâce à un drone et des appareils photographiques professionnels. Ainsi quelques 3111 photos aériennes et 2084 photos de grande résolution ont été réalisées pour couvrir les 42 hectares du site. Un modèle 3D de reconstitutions de l'ensemble du site, en cours d'élaboration, permettra à tous les intervenants d'obtenir des plans et des coupes des vestiges. Ce modèle servira de support cartographique aux travaux de conservation-restauration et sera un élément principal du carnet de santé de Volubilis.

De nombreuses publications scientifiques issues des recherches des équipes partenaires ont été réalisées dans des journaux internationaux et/ou des conférences nationales et internationales. (cf page 8)

Pour le volet valorisation du projet, les activités ont notamment porté et se poursuivent sur une amélioration des moyens de communication vis-à-vis des visiteurs tels que brochures, flyers et panneaux signalétiques descriptifs traitant de l'historique du site, des monuments, des matériaux, ainsi que la mise en place d'un site internet <http://volubilis.ma>

Afin d'établir des données fiables concernant les visiteurs actuels du site, une « étude des publics » a été menée durant trois mois. Les diverses conclusions doivent permettre aux autorités de mieux répondre aux attentes des visiteurs. Il convient de signaler que de nombreuses actions de valorisation et de communication seront réalisées durant la dernière année de ce projet notamment des conférences de bilan du projet en Région Centre Val de Loire, à Meknès et dans le centre d'interprétation de Volubilis.



DES DONNÉES HISTORIQUES ET GÉOLOGIQUES

LES TRAVAUX DE L'ÉQUIPE DE L'UNIVERSITÉ MOULAY ISMAIL (UMI) ONT ÉTÉ RÉALISÉS EN COLLABORATION AVEC L'ÉQUIPE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE MEDISTONE (PRESERVATION OF ANCIENT MEDITERRANEAN SITES).

L'histoire de Volubilis remonte à la préhistoire, en passant par la période maurétanienne, puis romaine et médiévale. L'équipe a retracé dans un rapport les grandes étapes de son évolution, en mettant l'accent sur la période romaine. Pour apprécier la nature des matériaux de construction, un rapport de synthèse sur les pierres, les dégradations visuelles et les carrières de leur origine a été réalisé. Enfin, un manuel de vulgarisation sur les matériaux de construction du site a été finalisé pour rendre les connaissances plus accessibles au grand public.



Inscription libyque



Objet archéologique : meule de pétrole



Carrière antique de Lekouar

L'équipe s'est intéressée également à la Maison de Vénus et a établi un rapport sur son histoire et son architecture.

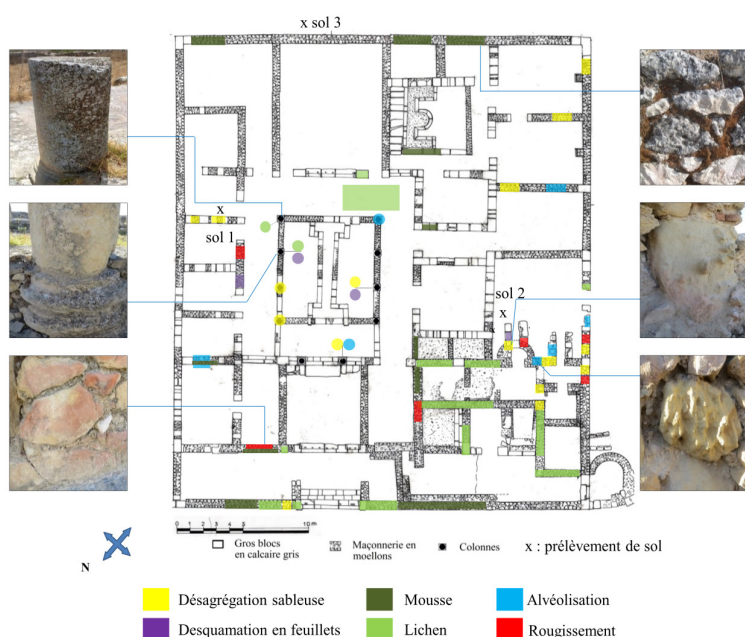
La maison présente des basculements et des fissurations des murs et de ses mosaïques.

Les observations géologiques ont montré que le bâtiment est affecté par un glissement vers le sud-est.

Ceci est dû à la nature argileuse du sol, les séismes et la topographie du terrain.



Mosaïque altérée et fissurée



Les altérations principales dans la maison de Venus

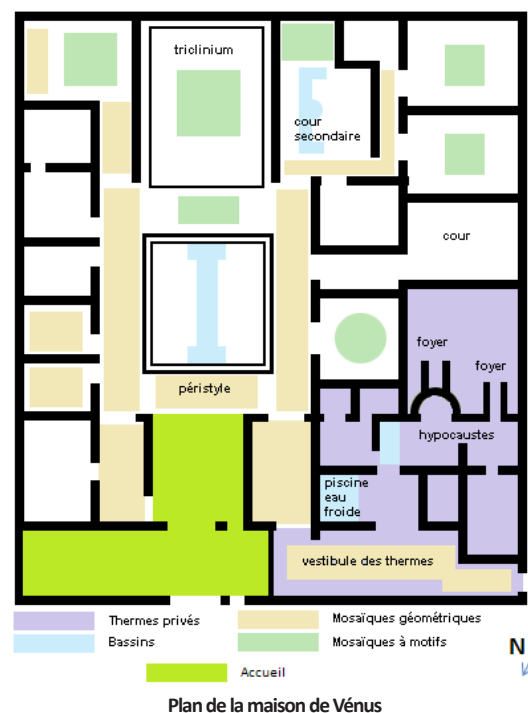
TOUT SUR LA MAISON DE VÉNUS !



Mosaïques dans la maison de Vénus

Le site de Volubilis contient plusieurs monuments dont la maison de Vénus, considérée comme la plus somptueuse maison du site avec ses mosaïques. Elle est située dans le quartier nord-est de Volubilis, sur la rive sud du Decumanus (axe est-ouest) secondaire. Elle est nommée ainsi car sa grande salle était couverte d'une mosaïque représentant la déesse Vénus. La maison s'étale sur un rectangle de 31,50 m de front et 37 m de profondeur. Sa porte d'entrée double mène, en descendant une marche, vers un premier vestibule oblong. Une deuxième entrée similaire à la précédente sépare le premier vestibule d'un deuxième plus bas et plus petit. Les deux vestibules sont pavés de dalles irrégulières en pierres dures. On accède au péristyle en descendant trois marches, coupées par deux colonnes portées sur des dèes. Le péristyle est presque carré (13m x 14m), il est constitué de quatre allées mosaïquées, quatre paires de colonnes et un bassin en forme de I au milieu. Des chambres d'habitation s'ouvrent sur les trois allées du péristyle. Certaines sont mosaïquées, d'autres non. Au sud de péristyle, se trouve une cour contenant un deuxième bassin. Les thermes occupent la partie Ouest de la maison.

Les travaux de thèse du doctorant Issam Aalil ont été consacrés au diagnostic de la maison de Vénus et à l'étude de dégradation de la pierre prépondérante dans le site et dans la maison, une calcarénite. Des essais de caractérisation minéralogique, hydrique, thermique et mécanique de la pierre et de sa durabilité ont été réalisés. Les résultats des analyses ont montré que de l'halite et du gypse ont été détectés dans la majorité des pierres et des mortiers dégradés. Les travaux de recherche se sont intéressés également aux mortiers de restauration et leurs matières premières (sable lavé, chaux aérienne, ajouts locaux, poudre de brique). Une étude fondée sur les plans d'expériences et sur une caractérisation comparative des mortiers formulés a été effectuée pour déterminer le dosage optimal des divers constituants. Un mortier de restauration optimal a été déterminé et une étude approfondie de son comportement à long terme est en cours.



Mosaïques dans la maison de Vénus

RECHERCHE DES SOLUTIONS DE RESTAURATION DURABLE

L'objectif des recherches engagées dans la thèse de Dalal Badredine est de proposer des solutions de restauration garantissant la durabilité et la stabilité des matériaux de construction et la stabilité des structures restaurées.



Construction des murets à échelle réduite en laboratoire

En effet, le site a subi des dégradations importantes tant au niveau des matériaux (pierres et mortiers) qu'au niveau de la structure des bâtiments. L'effondrement de structures est dû à la mauvaise qualité des mortiers utilisés lors des travaux de restauration précédents. Des interventions sont donc absolument nécessaires pour consolider et restaurer les structures effondrées.

La première étape du travail était d'établir un diagnostic sanitaire précis de l'état d'altération du site en plus du relevé d'altérations. Pour ce faire, plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées. Les résultats montrent que d'un point de vue minéralogique, les deux pierres sont constituées de calcite et de quartz.

La calcarénite beige jaunâtre est une pierre tendre, poreuse et capillaire comparée au calcaire gris, qui lui est une pierre très résistante, très peu poreuse et peu capillaire. Sur les pierres calcarénite on observe essentiellement des colonisations biologiques par lichens, des alvéolisations, des desquamations en feuillets et des désagréations sableuses. Du côté du calcaire gris on observe plutôt des patines noires, des fissurations et des desquamations en plaques.

La deuxième étape consiste à rechercher le meilleur mortier de restauration, ayant les propriétés requises (résistance, adhérence) en étant durable et compatible avec les matériaux d'origine. Le mortier ainsi conçu est à base de chaux et de matériaux locaux comme la poudre de brique et un sable dolomitique lavé. La compatibilité d'un point de vue physique et mécanique avec la pierre est vérifiée à partir de nombreux essais (porosité, capillarité, vitesse du son, résistance à la compression, adhérence).

La troisième étape est d'étudier le comportement des pierres et du mortier de restauration formulé dans cette étude sous vieillissement artificiel en laboratoire afin d'évaluer la durabilité des solutions proposées. Des maquettes de maçonneries sont soumises à des ambiances agressives en enceinte climatique (température, humidité, sels polluants). La formulation développée sera comparée au mortier actuellement mis en place sur le site. Enfin, à la fin de la thèse, la création de pilotes permettra de tester en grandeur nature le processus de restauration du site et le remontage effectif des constructions dans la maison de Vénus.

Enfin, une étude est en cours également concernant les procédés de consolidation des pierres altérées par nano-chaux. Nous devons évaluer, par la suite, l'efficacité du traitement par cette nouvelle nano-technologie ainsi que la compatibilité avec les matériaux antiques.



Les deux murets construits dans l'enceinte climatique

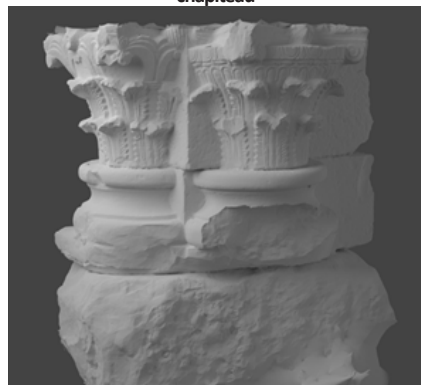
ACTIONS SUR LE SITE DE VOLUBILIS

INVENTAIRE DES VESTIGES

En collaboration avec l'Université Moulay Ismail, la conservation du site a fait appel à deux jeunes techniciens spécialisés dans le dessin de bâtiments pour inventorier les structures archéologiques de Volubilis tout en précisant l'état de conservation de ces structures. Les critères pour le classement des états de conservation ont été précisés d'avance en se basant sur les normes de conservation internationalement connues.



2 rendus texturés et ombrés du modèle 3D d'un chapiteau



Le travail a duré 4 mois et a permis d'inventorier 40% environ des structures du site, essentiellement situées dans les quartiers nord et nord-est de Volubilis. Les informations recueillies ont été saisies par l'équipe de la conservation sur une base de données Access et rapportées sur un SIG.

Ce travail est très important et sera poursuivi au cours du projet Volubilis. Il constitue la base du plan de gestion de site et permet au conservateur du site de mieux planifier ses interventions et ses actions de conservation et de restauration.

COUVERTURE PHOTOGRAPHIQUE DU SITE

Pour la constitution d'un modèle 3D du site Volubilis, une campagne photographique a été réalisée grâce à un drone et des appareils photos de haute résolution. Cette action s'est déroulée durant le mois de mai 2017 avec l'aide des collègues espagnoles spécialistes de la photogrammétrie, Antonio Almagro et M. Rand Eppic et deux collègues de laboratoire PRISME Xavier Brunetaud et Romain Janvier. La campagne a duré 4 jours durant lesquels 3111 photos aériennes et 2084 photos terrestres ont été prises pour couvrir les 42 hectares du site. A noter que 1200 photos ont concerné la maison de Venus en plus des 1600 photos déjà réalisées en 2013 par les collègues du PRISME.

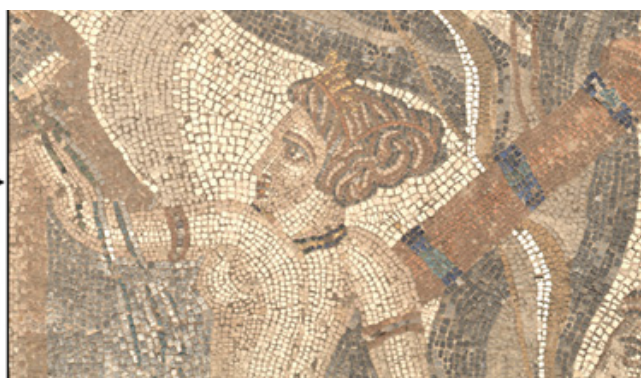
Le modèle 3D du site et la constitution virtuelle de la maison de Venus sont en cours. L'ensemble des données photographiques et les modèles 3D seront à la disposition de la conservation du site pour constituer le fond photographique du système d'information géographique de Volubilis.



Orthophotographie (globale et vue de détail) de l'ensemble du site



3 rendus texturés et 1 rendu ombré du modèle 3D des vestiges de la Basilique



Orthophotographie (globale et vue détail) d'une mosaïque de la maison de Vénus

ACTIVITÉS DE COMMUNICATION ET DE VALORISA- TION

SITE WEB WWW.VOLUBILIS.MA

Un site web dédié au site de Volubilis www.volubilis.ma a été créé par une société spécialisée en se basant sur une conception de base établie par le Laboratoire PRISME de l'Université d'Orléans.

Le site a été mis en ligne au début de 2017. Toutes les données et informations ont été réalisées et transmises par la conservation de Volubilis à la Société en trois langues : arabe, français et anglais.

Un contact permanent entre la conservation du site et la société permet d'améliorer les aspects liés au référencement et à la maintenance du site web.



Page d'accueil du nouveau site web www.volubilis.ma

BROCHURES, FLYERS ET PAN- NEAUX SIGNALÉTIQUES

Des modèles de brochures, flyers et panneaux signalétiques ont été proposés par le conservateur du site Volubilis. La Mission Val de Loire et le PRISME étudient avec le conservateur la conception finale de ces outils de communication. Ces réalisations seront mise en place au cours de cette année.



Lieux d'emplacement des panneaux informatifs



Nouveau plan du circuit de visite du site

ÉTUDE DES PUBLICS

En collaboration avec la Mission Val de Loire, la conservation du site a recruté trois stagiaires pour mener à bien l'étude des publics qui avait pour objectifs de connaître les différents profils des visiteurs, leur itinéraire à l'intérieur du Maroc et leurs attentes à l'égard du site.

Les informations recueillies permettront à la conservation de mieux planifier et exécuter des projets adaptés aux attentes des touristes en vue d'améliorer les conditions d'accueil et de visite.

La mission a duré 4 mois de mai à août 2016, et a permis de collecter plus de 1000 questionnaires. Un rapport englobant les résultats de cette étude avec des recommandations a été rédigé par la Mission Val de Loire.

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DES PU- BLICS



Dans le cadre du programme, une étude des publics a été réalisée de mars à septembre 2016, se basant sur 1092 questionnaires exploités, afin de contribuer au développement de la politique des publics du site : mesurer les attentes et besoins des visiteurs, esquisser leurs profils et appréhender leurs comportements pour que les développements et les actions futures répondent en cohérence et en correspondance avec l'estimation des besoins.

Cette étude des publics s'est déroulée en quatre phases :

- Etablissement d'un questionnaire avec 31 items s'articulant autour de questions fermées et de questions ouvertes.
- Enquête sur place. Du 1er avril au 28 juillet 2016, des étudiants marocains ont administré en mode semi-directif, en fin de visite les questionnaires en face à face, en plusieurs langues (arabe, français, anglais) pour échanger avec un public international.
- Traitement, analyse et interprétation des données collectées. Cette phase a été réalisée au sein de la Mission Val de Loire de mi-août à mi-septembre 2016.
- Elaboration d'une fiche de recommandations. Cette dernière phase est essentielle pour mettre à profit les enseignements tirés de l'étude.

Les recommandations suivantes sont donc basées sur l'analyse et l'interprétation des données collectées lors de cette étude des publics. Ces recommandations sont classées selon trois axes majeurs : le confort du visiteur et la qualité d'accueil (I), l'entretien et la conservation du site (II) et la valorisation et médiation des contenus (III).

CONFORT DU VISITEUR ET QUALITÉ D'ACCUEIL

Des attentes ont été formulées par les visiteurs concernant l'accessibilité au site et dans le site, l'entretien des espaces sanitaires et les prestations offertes aux abords du site :

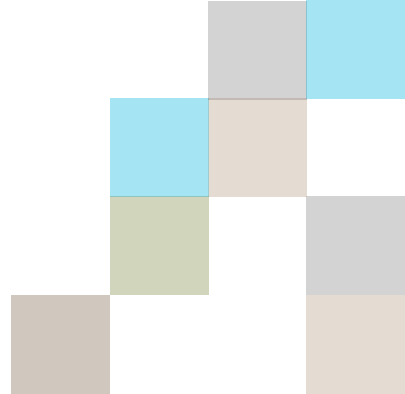
- Amélioration de la qualité d'accueil des visiteurs via l'aménagement de zones de détente et d'ombre, et accroissement du nombre de toilettes, points sanitaires et poubelles.
- Amélioration de l'accessibilité pour les personnes âgées, handicapées et les enfants, tout en préservant la protection.
- Faciliter l'accessibilité via la mise en place de transports en commun. Proposer plus d'offres en termes de cafés, restaurants, hôtels et boutiques, à des prix adaptés.



ENTRETIEN ET CONSERVATION DU SITE

L'insuffisante protection du site – monuments, mosaïques – a été remarquée par les visiteurs interrogés et présente des risques de dégradation.

L'entretien (nettoyage et désherbage), sur une grande superficie est à intensifier. Mieux protéger les monuments et les mosaïques (sur lesquels les visiteurs peuvent marcher, conduisant des risques d'endommagement du site).



VALORISATION / MÉDIATION

Le profil type des visiteurs interrogés a révélé un public très majoritairement adulte, ayant fait des études supérieures et ayant connaissance du classement du site comme patrimoine mondial UNESCO.

- Améliorer les panneaux d'information et de signalétiques existants (langues étrangères – notamment anglais et espagnol), valoriser la classification UNESCO à l'entrée.
- Proposer une formation pour les guides.
- Améliorer le site internet (la création d'un nouveau site fait partie du projet Volubilis)
- Créer des outils pédagogiques, des parcours de visite et des outils audiovisuels (images 3D, vidéos explicatives...).

Notons enfin que le temps global de la visite est inférieur à 90 minutes. Une amélioration du confort du visiteur, une proposition d'offres en matière de restauration, hôtellerie, cafés, ainsi que l'amélioration des outils de médiation permettrait d'accroître le temps de la visite et contribuerait par conséquent à de plus fortes retombées économiques locales.

ARTICLES

- Aalil, K. Beck, X. Brunetaud, K. Cherkaoui, A. Chaaba, and M. Al-Mukhtar, "Deterioration analysis of building calcarenite stone in the House of Venus in the archaeological site of Volubilis (Morocco)" *Construction and Building Materials*, vol. 125, pp. 1127–1141, 2016.
- I. Aalil, K. Beck, X. Brunetaud, D. Badreddine, K. Cherkaoui, A. Chaaba, and M. Al-Mukhtar, "Restoration mortars for the Volubilis calcarenite stone," *Procedia Structural Integrity* (en presse).



Campagne de prélèvement des mortiers sur la maison de Vénus



Desquamation en feuillets sur une colonne de péristyle de la maison de Vénus



Désagrégation sableuse sur les thermes de la maison de Vénus

COMMUNICATIONS

- I. Aalil, K. Beck, X. Brunetaud, K. Cherkaoui, A. Chaaba, M. Al-Mukhtar «Estimation de la porosité et de l'absorption d'eau des pierres à l'aide des essais non destructifs : cas de la calcarenite de Volubilis » in 35èmes Rencontres de l'AUGC, 2017.
- D. Badreddine et al. «Préservation du site archéologique de Volubilis (Maroc): caractérisation et étude des altérations des pierres principales du site» in 35èmes Rencontres de l'AUGC, 2017.
- M. Al-Mukhtar et al "Preservation and Valorisation of Morocco's Ancient Heritage: Volubilis BT - Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection: 6th International Conference, EuroMed 2016, Nicosia, Cyprus, October 31 – November 5," Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 160–167.
- I. Aalil, K. Beck, X. Brunetaud, K. Cherkaoui, A. Chaaba, and M. Al-Mukhtar, "Estimation of physical properties of Volubilis calcarenite stone using non-destructive testing," in International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering, Technical University of Denmark, Denmark, August 2016.
- I. Aalil, D. Badreddine, K. Beck, X. Brunetaud, K. Cherkaoui, A. Chaaba, and M. Al-Mukhtar, "Preservation of the house of Venus in Volubilis," in 41st IAHS World Congress on Housing, Albufeira, Portugal, 13-16 September 2016.

