



CPER 2007-2013. Bilan scientifique 2007-2013 de l'action CREDO/VISA "Reconstruction et Visualisation de données archéologiques et architecturales"

Xavier Skapin

► To cite this version:

Xavier Skapin. CPER 2007-2013. Bilan scientifique 2007-2013 de l'action CREDO/VISA "Reconstruction et Visualisation de données archéologiques et architecturales". [Travaux universitaires] Université de Poitiers; XLIM. 2013. hal-02464832

HAL Id: hal-02464832

<https://hal.science/hal-02464832>

Submitted on 3 Feb 2020

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.



Contrat de projet Etat-Région 2007-2013

Axe B "Savoir, Images, Sociétés "

Bilan scientifique

Coordinatrice scientifique Axe B : Hélène Chuquet

Coordinatrice **projet 10 "Images et interactivités"** : C. Fernandez-Maloigne

Coordinateur **projet 11 "Apprentissage éducation et cohésion sociale"** : J.F. Rouet

Coordinateur **projet 12 "Patrimoines et territoires"** : J. Léonard

Coordinateurs techniques : E. Planchon (projet 10), K. Hirech (projets 11 & 12)

Action CREDO Caractérisation et représentation de données patrimoniales, sous-action VISA

Intitulé de la sous-Action : Reconstruction et Visualisation de données archéologiques et architecturales (VISA)

Nom du responsable de l'Action ou Sous-Action :

- N. Dieudonné-Glad (Herma, UP), P. Lienhardt (XLIM-SIC, UP) auquel a succédé X. Skapin (XLIM-SIC, UP) depuis le 01/07/09.

Rédacteur : X. Skapin

Partenaires :

Université de Poitiers:

Ne sont indiqués ici que les enseignants-chercheurs permanents qui sont intervenus dans les travaux menés entre 2007 et 2013.

- S. Alayrangues : XLIM-SIC, 2010-2013 : 20 %
- P. Ballet : Herma, MSHS, 2007-2010 : 25%
- Y. Bertrand : XLIM-SIC, 2007-2008 : 30%
- F. Bremand : LMS, P', 2007-2010 : 20%
- G. Damian : XLIM-SIC, 2007-2008 : 30%
- N. Dieudonné-Glad : Herma, MSHS, 2007-2013 : 25%
- L. Fuchs : XLIM-SIC, 2007-2008 : 20%
- M. Khoudeir : XLIM-SIC, 2007-2013 : 20%
- P. Lienhardt : XLIM-SIC, 2007-2008 : 40%, 2008-2009 : 25%, 2009-2013 : 20%
- D. Marcheix : LISI, ENSMA,, 2007-2008 : 40%, 2008-2013 : 20%
- D. Meneveau : XLIM-SIC,, 2007-2008 : 40%; 2008-2013 : 20 %
- V. Michel : Herma, MSHS, 2007-2010 : 25%
- X. Skapin : XLIM-SIC, 2007-2008 : 40%, 2008-2009 : 20%, 2009-2013 : 25 %
- G. Subrenat : XLIM-SIC, 2007 : 20%

Rappels des objectifs de la sous-action VISA

Il s'agissait de concevoir et de développer une plate-forme intégrant des outils de reconstruction et de visualisation 2D et 2D+t, et surtout 3D et 3D+t, dédiée à l'architecture et l'archéologie. Dans ce domaine, la construction de scènes virtuelles est une étape de validation d'hypothèses scientifiques, produisant aussi un vecteur culturel en direction du public.

Bilan

Cette sous-action a réuni pour la première fois début 2007, des membres des laboratoires HERMA, LISI, XLIM-SIC et LMS, sur des problématiques nouvelles pour les participants.

Deux axes de travail parallèles ont rapidement été identifiés. Le premier s'attachait à analyser et caractériser les propriétés physiques et photométriques d'objets issus de fouilles pour les reproduire sur des objets virtuels (section 1.1). Le second avait pour objectif de développer un logiciel de modélisation dédié aux archéologues pour construire des bâtiments virtuels complexes et tester des hypothèses de reconstruction (section 1.2).

1. Logiciel de modélisation de bâtiments anciens

Les premiers travaux ont principalement porté sur la conception et l'expérimentation d'opérations géométriques 3D spécifiques. Une étude approfondie de manuels d'architecture a été entreprise sur toute la période.

En 2007-2008, une réflexion sur la conception d'opérations géométriques paramétrées, dédiées à la construction de colonnes et de voûtes, a ainsi été proposée.

En parallèle, les travaux portant sur la modélisation de trois états architecturaux de l'église paléochrétienne de Taybeh (Palestine) ont été poursuivis en 2007-2008, achevés en 2008-2009 et mis à disposition de la structure muséale palestinienne (Fig. 1).

Par ailleurs, des réflexions concernant les hypothèses de restitution des bâtiments gallo-romains de Rom dans des Deux-Sèvres (Fig. 2 : a à c, restitution du bâtiment d'une écurie du Ve s. après J.-C. construite en bois, à l'intérieur des ruines d'un bâtiment en pierre plus ancien. a : vue générale du bâtiment dans le contexte des autres vestiges non restituables à cause d'informations trop lacunaires. b : vue du bâtiment. c : restitution de l'atelier de forge dont l'enclume et le foyer étaient conservés en place. d à g : restitution des bâtiments en façade d'ilôt au lieu dit "Le Parc". d et e : deux hypothèses compatibles avec les vestiges observés ; f : en rouge, vestiges découverts écroulés in situ et restitués dans leur position d'origine ; g : vue intérieure d'une des pièces du bâtiment prenant en compte les observations faites en fouille ; présence et position de sacs de céréales d'un coffre en bois dont la serrure a été conservée, support pour des céramiques. La pièce a été détruite par un incendie qui a permis la conservation de ces informations.) et de fours de potiers de Bouto (Egypte) ont alimenté la réflexion concernant les opérations de reconstruction 3D. En 2008, ces bâtiments ont été modélisés par M. Linlaud avec le logiciel 3DSMax et leur mobilier restitué, sans que toutes les hypothèses envisageables puissent être testées, à cause des limitations du logiciel employé. Il en a résulté une réflexion méthodologique sur les restitutions 3D et le développement d'un cahier des charges pour un logiciel dédié aux besoins spécifiques des archéologues liés à l'existence de données lacunaires et à la nécessité de prendre en charge des hypothèses multiples de restitution.



Fig. 1 : Une des hypothèses de restitution de l'église de Taybeh (Palestine), (M. Linlaud et V. Michel)



Fig. 2 Rom (Deux-Sèvres) : (M. Linlaud et N. dieudonné-Glad).

La réflexion sur la modélisation 3D a été soumise aux laboratoires XLIM-SIC et LISI et a mis en relief la notion de *modélisation hiérarchique*, permettant de manipuler des structures architecturales de complexité variable. Une étude bibliographique a recensé les approches existantes (dont certaines élaborées au XLIM-SIC) pour représenter différentes structures hiérarchiques. Deux études complémentaires ont été menées de front sur cette période, sous la forme :

- d'un projet de master M1 (2008-2009) suivant une approche « descendante » consistant à décomposer une structure architecturale complexe en structures élémentaires. Cette approche a mis en exergue les différentes opérations de modélisation à définir, spécifiques au contexte archéologique (Fig. 3 à 7).

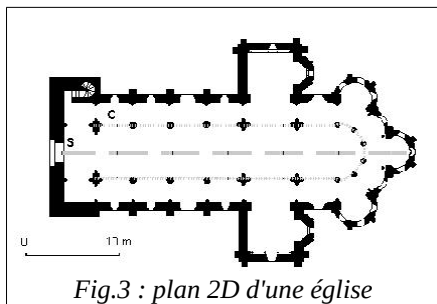


Fig.3 : plan 2D d'une église

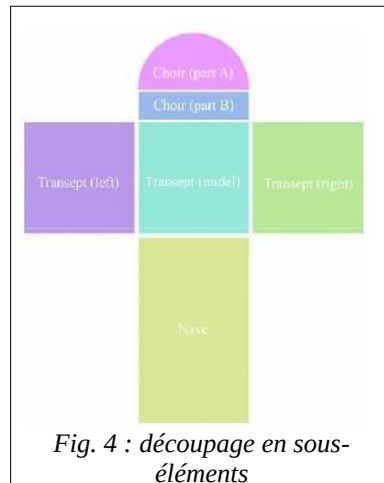


Fig. 4 : découpage en sous-éléments

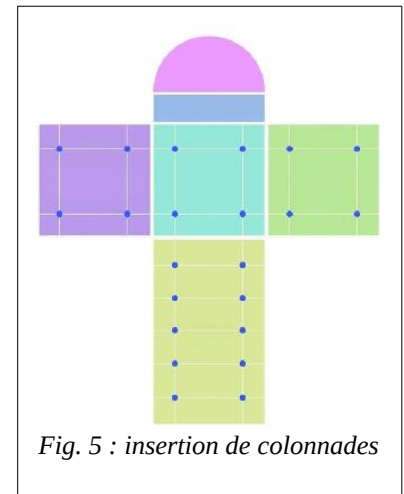


Fig. 5 : insertion de colonnades

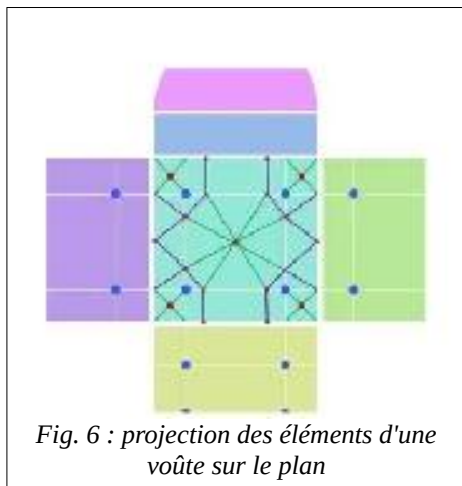


Fig. 6 : projection des éléments d'une voûte sur le plan

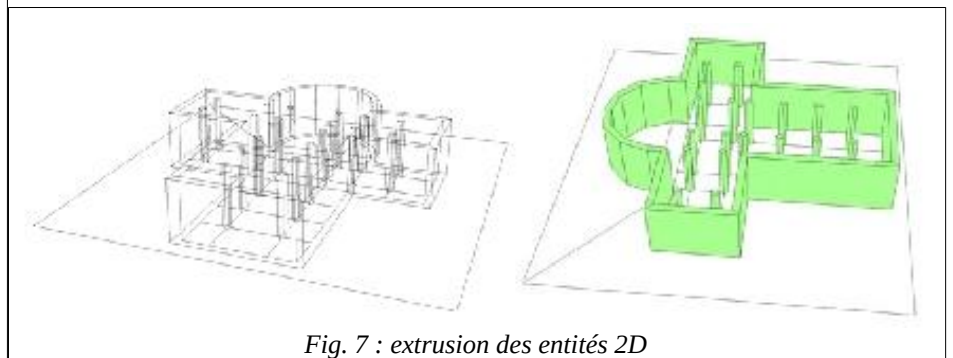


Fig. 7 : extrusion des entités 2D

- d'un stage d'ingénieur suivi d'un master recherche (F. Goupeyou, 2007-2008 et 2008-2009), selon une approche « ascendante » où l'on construit des structures architecturales 3D élémentaires que l'on assemble pour obtenir une structure complexe (Fig. 8 et 9). S'est intégré à ce travail un début de réflexion sur la gestion des contraintes entre les entités géométriques manipulées, pour calculer l'influence de la modification d'une entité sur les autres.

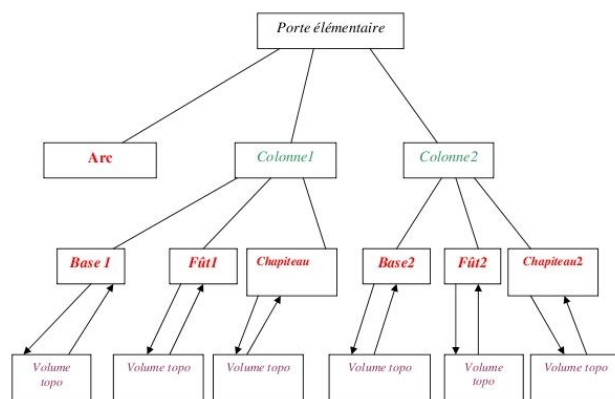
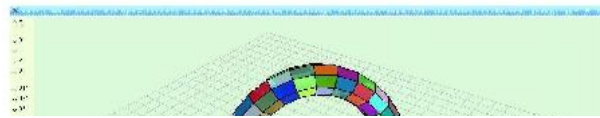


Fig. 8 : composition d'une porte par une méthode ascendante

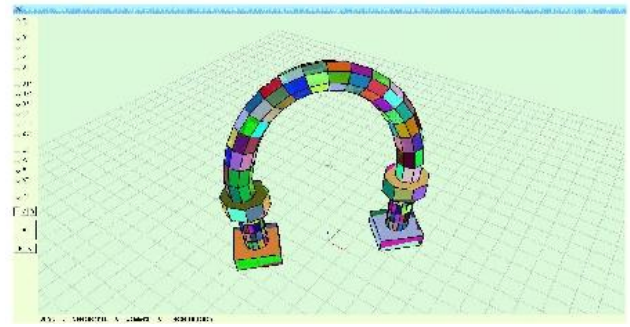


Fig. 9 : modélisation 3D de la porte

En 2009-2010, deux stages de master recherche M2 (J. Mauger et T. Mortreuil) et deux post-doctorants (N. Takouachet et A. Dupas) ont poursuivi ces travaux.

T. Mortreuil s'est concentré sur la gestion de contraintes et a proposé un modèle de résolution automatique de systèmes de contraintes sous contraintes, permettant de tester rapidement plusieurs hypothèses de construction (Fig. 10).

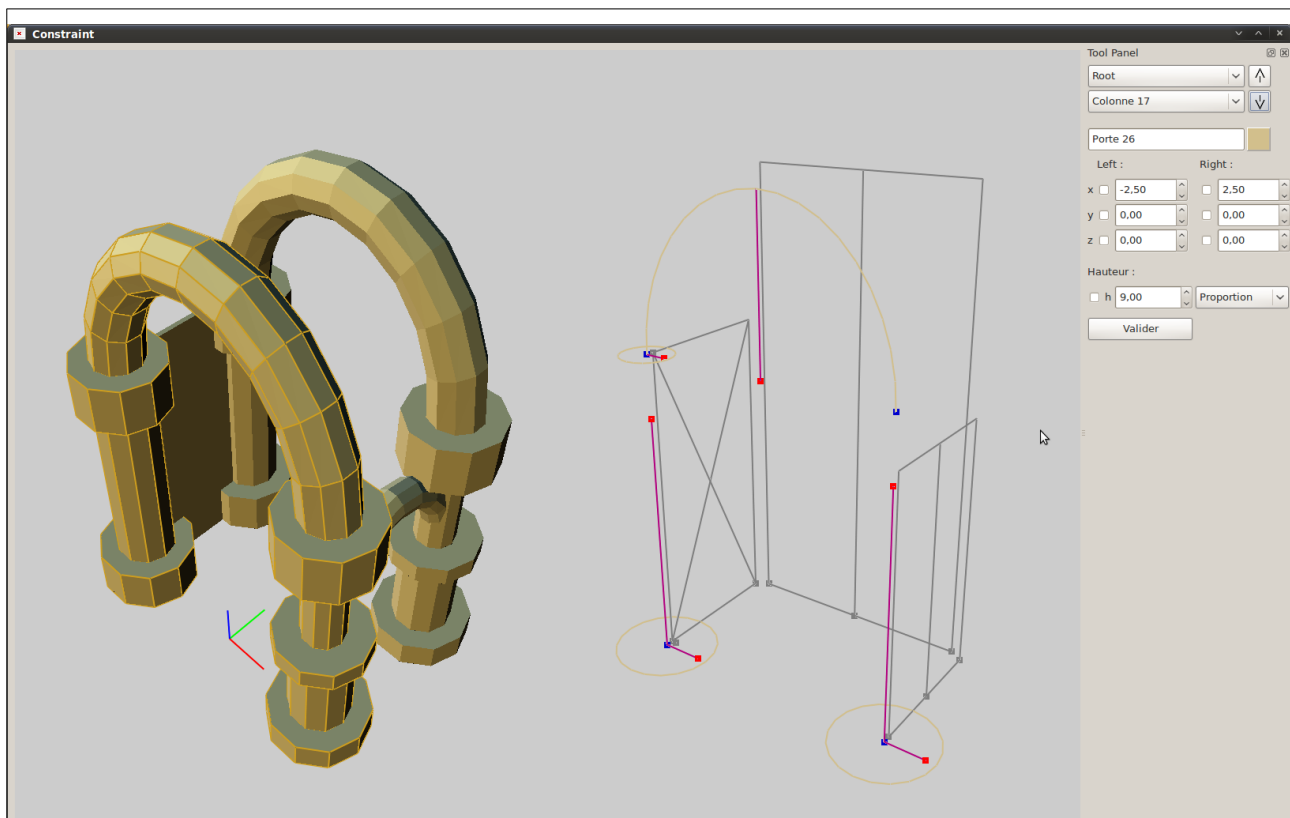


Fig. 10 : modélisation et contraintes. À gauche, une composition reliant des arches et une porte. Au milieu, une représentation symbolique des paramètres et des contraintes qui les lient. À droite, un menu permettant de modifier interactivement les paramètres et de calculer la résolution de contraintes avec leurs nouvelles valeurs.

N. Takouachet et A. Dupas ont pris en main à tour de rôle le pilotage du projet, tout en participant à la conception et à la réalisation du logiciel de modélisation à partir de plans.

En 2009, N. Takouachet a d'abord poursuivi les travaux du groupe de Master M1 sur les plans d'église pour élaborer des scénarios de placement des éléments constituant une église et les décomposer. Elle a reproduit la méthodologie de travail des archéologues pour construire interactivement des éléments de bâtis, ce qui nécessite pour chaque élément des opérations de modélisation adaptées (Fig. 11 à 16).

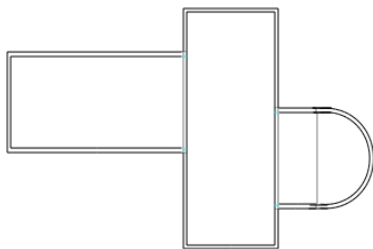


Fig. 11 : composition de parties d'une église avec mise à jour des murs.

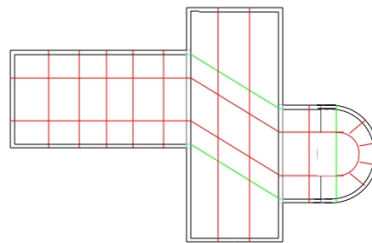


Fig. 12 : trace des colonnades.

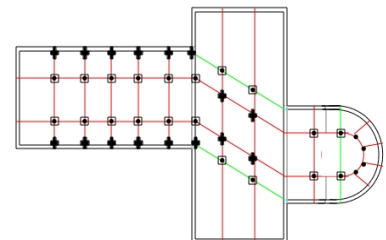


Fig. 13 : ajout de symboles figurant colonnes et contreforts.

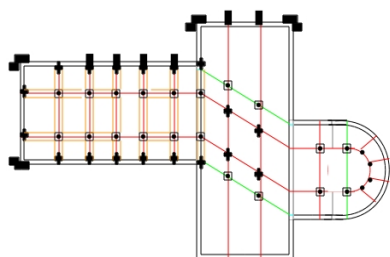


Fig. 14 : découpage de la nef en sous-éléments s'appuyant sur les colonnes.



Fig. 15 : exemple de voûte s'appuyant sur 4 colonnes.

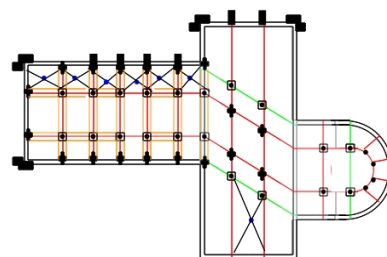


Fig. 16 : la projection des voûtes sur le plan (croix bleues) découpe l'espace en sous-éléments.

Entre 2009 et 2010, la complexité du travail à réaliser pour construire des églises nous a réorienté vers des bâtiments plus simples géométriquement, à savoir les maisons romaines, l'objectif étant d'exploiter le savoir-faire acquis pour construire plus tard des bâtiments plus complexes.

N. Takouachet a piloté les réunions visant à établir la méthodologie de construction de ce type de bâtiment, et élaboré plusieurs scénarios de modélisation pour conserver l'objectif principal : prévoir différents scénarios de construction possibles tout en laissant le contrôle complet à l'utilisateur en termes de modifications, et tester de manière interactive plusieurs hypothèses de restitution sans devoir modéliser de nouveau l'ensemble du bâtiment.

Les travaux de J. Mauger et d'A. Dupas se sont inscrits dans ce cadre, pour permettre aux archéologues de construire rapidement des plans de bâtiments en vue de leur exportation en 3D. A. Dupas a proposé une nouvelle interface graphique (s'appuyant sur une plate-forme logicielle du XLIM-SIC) pour l'outil de modélisation et a co-encadré avec X. Skapin un stage de Master 1 pour développer une bibliothèque de visualisation 3D, destinée à visualiser et interagir avec les modèles des bâtiments en 3D. Cette interface a permis de dessiner rapidement, et avec un retour d'information important, des murs et des pièces sur un plan 2D.

La première tâche de J. Mauger était de rechercher dans la bibliographie des plans 2D de maisons romaines (Fig. 17 et 18). Il a repris les concepts élaborés par N. Takouachet et fourni un logiciel de création 2D à base topologique de pièces romaines avec gestion des murs intérieurs et extérieurs et de la hiérarchie (Fig. 19 et 20). Il faut souligner que ce logiciel propose une interface adaptée à la méthodologie de création 2D des archéologues.

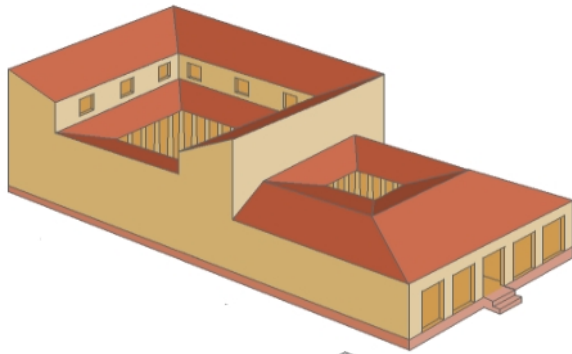
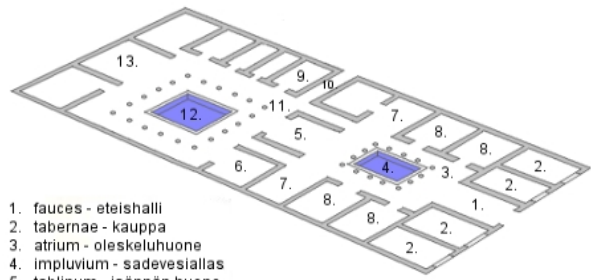


Fig. 17 : maquette de domus.



- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. fauces - eteishalli | 10. posticum - takaovi |
| 2. tabernae - kauppa | 11. peristylum - sisäpiha |
| 3. atrium - oleskeluhuone | 12. piscina - kalalammikko |
| 4. impluvium - sadevesiallas | 13. exedra - seurustelusali |
| 5. tablinum - isännän huone | |
| 6. triclinium - ruokasali | |
| 7. alae - sivuhuone | |
| 8. cubiculum - makuuhuone | |
| 9. culina - keittiö | |

Fig. 18 : plan correspondant.

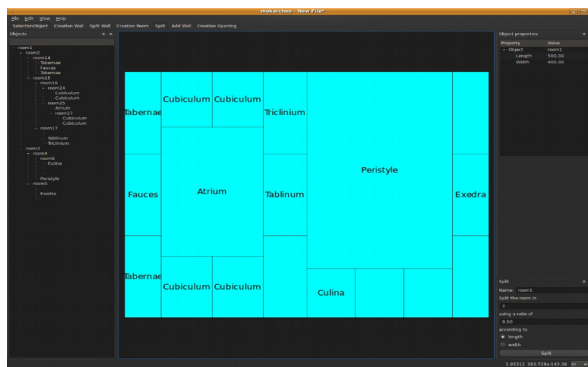


Fig. 19 : logiciel de création de pièces.



Fig. 20 : gestion des murs séparant les pièces.

En parallèle, A. Dupas s'est attaché à revoir la conception et l'implémentation de la plate-forme logicielle pour y intégrer le support de la *multi-résolution*, de la *composition hiérarchique de structures complexes* (Fig. 21) et de la *multi-partition* permettant d'associer une notion sémantique aux entités modélisées (Fig. 22) – T. Mortreuil a commencé à étendre ces notions à la description d'un bâtiment à plusieurs niveaux de détail (Fig. 23).

Enfin, A. Dupas s'est intéressé à l'enregistrement des étapes de création d'entités pour permettre leur rejeu avec de nouvelles hypothèses.

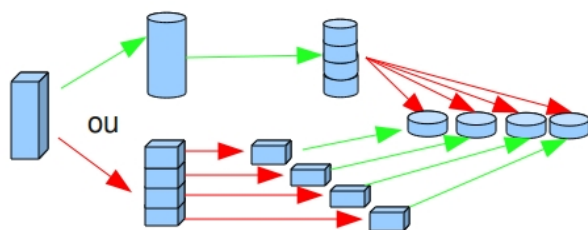


Fig. 21 : un objet représenté grossièrement peut être affiné géométriquement par multi-résolution (flèches vertes) ou structuellement en sous-objets par composition (flèches rouge),

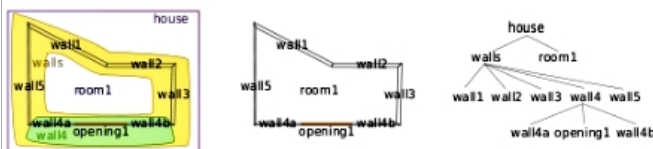
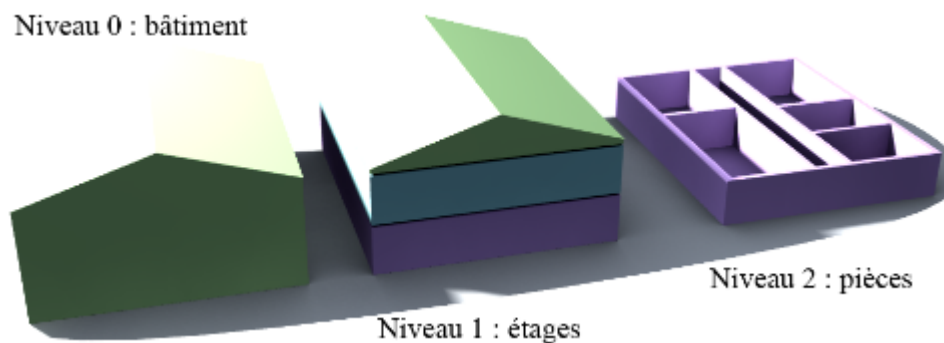


Fig. 22 : à gauche, les murs sont regroupés dans la partition “walls” (en jaune) et une sélection de murs est regroupée dans la partition “opening” (en vert). Au milieu, les murs sans partition. À droite, la composition hiérarchique de la maison.

Niveau 0 : bâtiment



Niveau 1 : étages

Niveau 2 : pièces

Fig. 23 : bâtiment considéré à plusieurs niveaux de détail

À l'issue de la période 2007-2010, les différents travaux autour du développement du logiciel de construction 3D et le début du doctorat de T. Mortreuil (intitulé « Modélisation hiérarchique de bâtiments anciens ») ont permis, dans un premier temps, de synthétiser l'ensemble des réflexions et des travaux réalisés précédemment. Il en a découlé deux axes de travail principaux.

1. La quantité d'informations relative à un site de fouille évolue au cours du temps, selon les possibilités d'exploitation et les conjonctures auxquelles sont soumises les archéologues. Il leur est ainsi utile de représenter des (parties de) bâtiments de manière plus ou moins détaillée (on parlera de « multi-résolution »), en fonction de l'évolution de leurs connaissances sur le sujet.

Après étude de la problématique, le XLIM-SIC a déterminé qu'il n'existe pas d'outil logiciel répondant précisément à ce besoin, et le travail de T. Mortreuil en 2011, outre une recherche bibliographique sur le domaine, s'est attaché à :

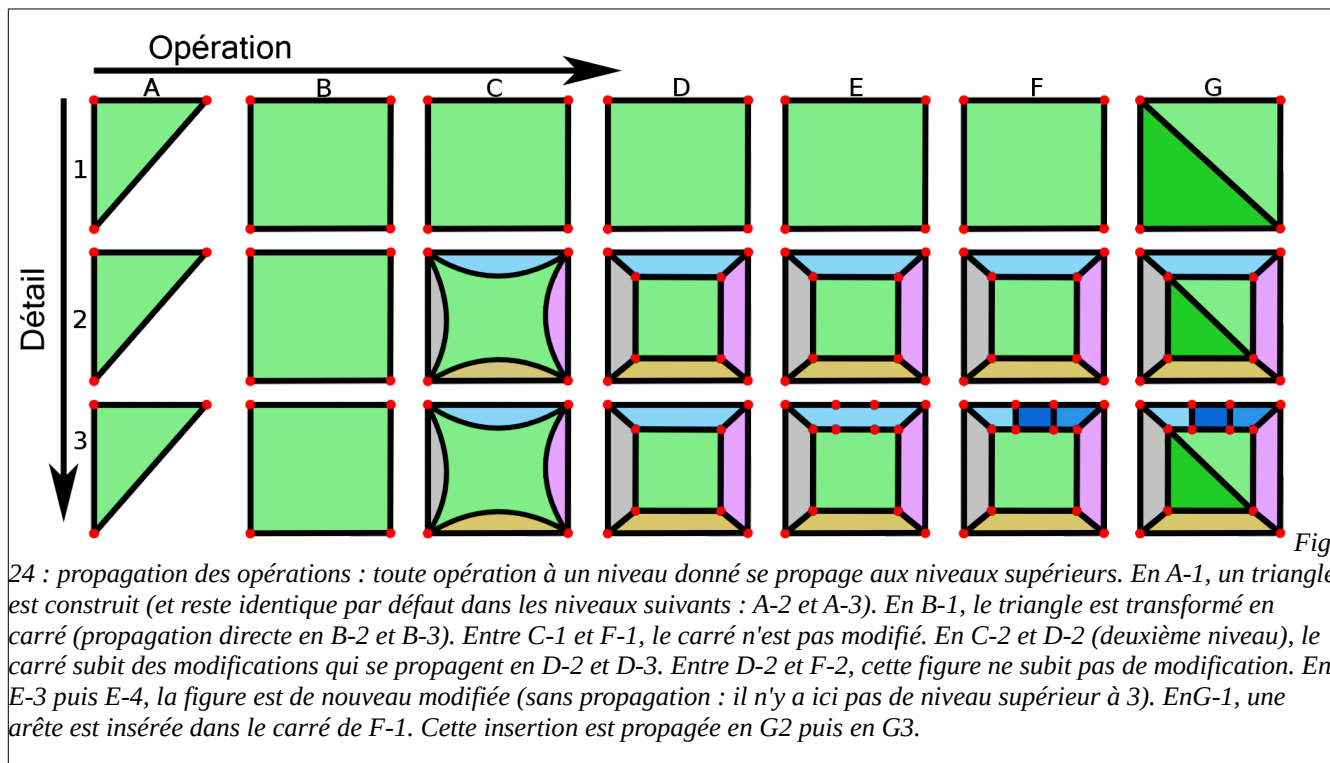
- étudier la plate-forme logicielle à base topologique du XLIM-SIC pour estimer ses capacités d'intégration de la multirésolution ;
- sélectionner les opérations de modélisation basiques utiles pour le sujet et les redéfinir pour intégrer la multi-résolution ;
- programmer une interface homme-machine permettant de construire des formes simples et de tester les opérations sus-mentionnées.

Ce travail s'est poursuivi en 2012 et s'est enrichi avec :

- une collaboration régulière avec les archéologues pour définir un vocabulaire commun
- la formalisation des étapes de construction de bâtiments et quelques prototypes logiciels pour les illustrer

- la conception d'un modèle géométrique multi-résolution
- la conception d'opérations de manipulation de ce modèle, et l'étude de la propagation des modifications effectuées à un niveau de résolution sur les autres niveaux du modèle (Fig. 24).

T. Mortreuil travaille actuellement sur la robustesse des opérations du modèle géométrique et va s'attacher à traiter des cas d'études adaptés aux besoins des archéologues. La gestion des hypothèses de construction sera ensuite mise au point.



2. En parallèle, l'équipe XLIM-SIC a sélectionné des opérations de modélisation 3D « métier » complexes (même sans tenir compte de la multi-résolution), notamment la construction de voûtes, dans des églises par exemple. Un cycle de réunions de travail a permis aux archéologues d'expliquer aux informaticiens la manière de réaliser ces opérations. Nous avons commencé à étudier les algorithmes et les paramètres nécessaires à l'intégration de ces opérations dans le logiciel développé par T. Mortreuil.

Parallèlement au doctorat de T. Mortreuil, l'équipe HERMA a travaillé sur plusieurs projets, en particulier :

- La restitution 3D d'une demeure aristocratique gauloise découverte à Saint-Georges-les-Baillargeaux (86) dont l'architecture, bien conservée, permettait d'émettre des hypothèses sur l'élévation du bâti à partir d'éléments découverts sur le terrain. La fouille archéologique a été menée par P. Maguer, chercheur de l'INRAP (Institut National de la Recherche en Archéologie Préventive) associé à l'équipe HERMA qui a participé de manière étroite à la conception de la restitution (Fig. 25).

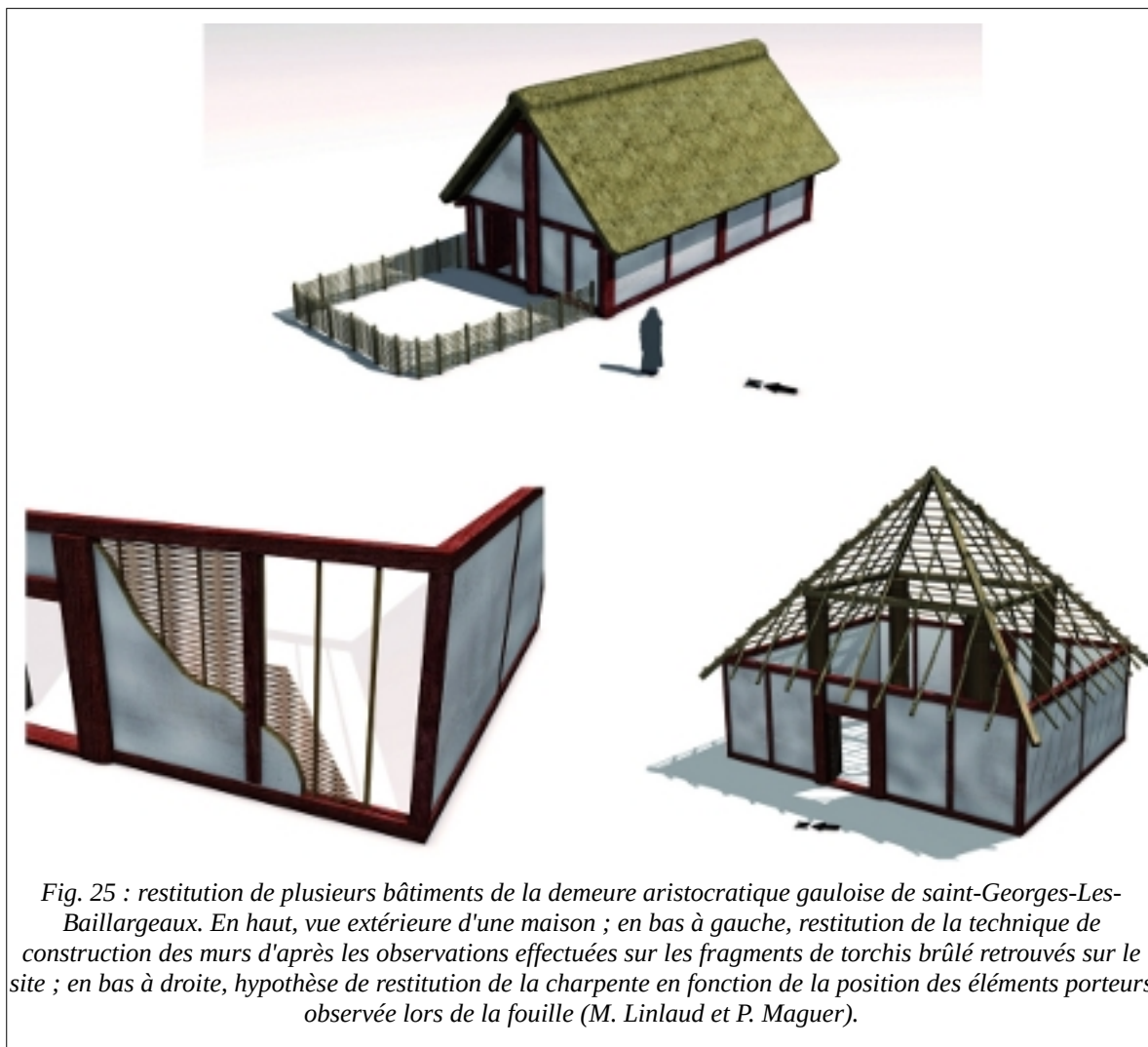
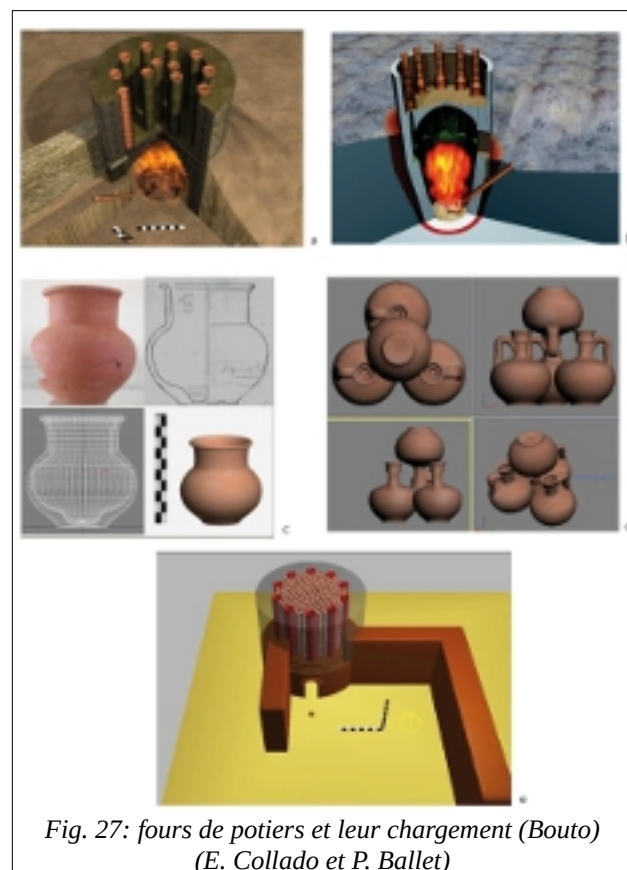
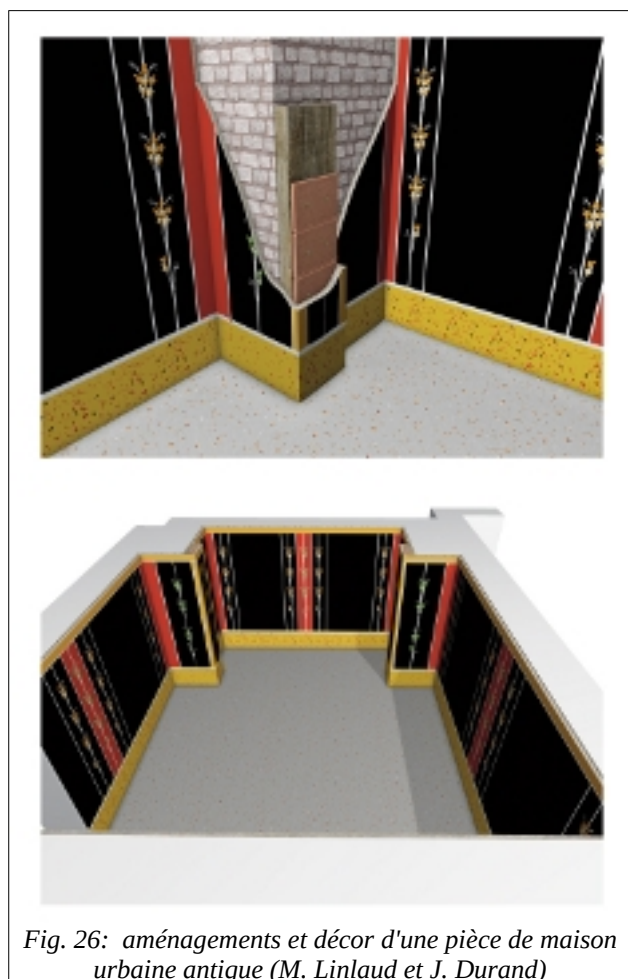


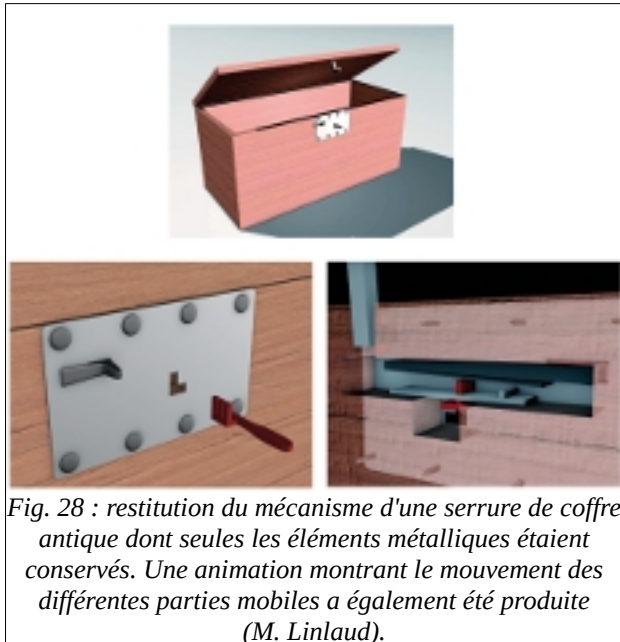
Fig. 25 : restitution de plusieurs bâtiments de la demeure aristocratique gauloise de saint-Georges-Les-Baillargeaux. En haut, vue extérieure d'une maison ; en bas à gauche, restitution de la technique de construction des murs d'après les observations effectuées sur les fragments de torchis brûlé retrouvés sur le site ; en bas à droite, hypothèse de restitution de la charpente en fonction de la position des éléments porteurs observée lors de la fouille (M. Linlaud et P. Maguer).

- - La restitution des aménagements en matériaux périssables et du décor peint écroulé *in situ* dans une pièce d'habitation de l'agglomération antique de Vendeuve-du-Poitou fouillée par J. Durand (doctorant HERMA) a permis de lever certaines hypothèses sur la mise en place de ce décor (Fig. 26 : restitution des aménagements et du décor d'une pièce de maison urbaine antique à Vendoeuvre du Poitou (86). En haut, écorché du mur montrant la restitution de l'aménagement d'angle (les tuiles ont été retrouvées écroulées *in situ*, le bois avait disparu. En bas, vue générale du décor de la pièce, après étude des enduits peints recueillis sur le sol de la pièce).
- La poursuite du travail sur la restitution de l'élévation des fours de potiers et la modélisation de leur chargement a été menée à partir de nouvelles données archéologiques qui ont nourri la réflexion. Par ailleurs, des hypothèses sur le nombre de céramiques produites par les fours ont été développées à partir de cette approche et de la modélisation 3D des céramiques produites dans l'atelier, dont de nombreux exemplaires entiers ont été découverts (Fig. 27 : Bouto (Egypte), restitution de fours de potiers et de leur chargement ; a, première hypothèse de restitution de la chambre de chauffe (partie intérieure du four) et du laboratoire (partie supérieure, entièrement disparue) à partir des données de fouille 2007 ; b, nouvelle restitution prenant en compte des découvertes archéologiques récentes (2010) : forme des tubulures dans le laboratoire et partie basse du tuyau d'alimentation dans la chambre de chauffe (M. Linlaud et P. Ballet) ; c à e, modélisation 3D de types de céramique fabriqués dans l'atelier et hypothèse d'empilement et de chargement du four tenant compte des données de fouille 2006).



Les restitutions 3D ont été menées avec le logiciel 3DSMax dans le cadre d'un contrat post-doctoral conclu avec M. Linlaud (2011-2012). Outre les résultats archéologiques qu'elle a contribué à produire, la réalisation de ces projets a amené à préciser le cahier des charges du logiciel en cours d'élaboration dans le cadre de la thèse de T. Mortreuil.

À la suite de la thèse de M. Linlaud « Les systèmes d'ouverture et de fermeture de l'ameublement et de l'architecture. : archéologie, iconographie et restitution (France et ses abords, IXe-XIIIe siècles) » est apparu l'intérêt d'utiliser la représentation 3D pour comprendre et faire comprendre certains mécanismes comme ceux des serrures dont seuls certains éléments nous sont parvenus. De nouveaux cas ont été traités dans le cadre de l'action VISA, en collaboration avec des institutions muséales en particulier le Musée Sainte-Croix à Poitiers (Fig. 28) . Cette problématique a été également étendue à la restitution d'autres objets complexes dont certaines parties sont manquantes (Fig. 29 : fragments d'un objet complexe retrouvés groupés dans une pièce identifiée comme une resserre par la présence de céramiques de stockage semi-enterrées dans la ville antique de Zeugma (Turquie); b et c, représentation de crochets à viande (carnarium) sur une stèle funéraire de boucher (b) et une mosaïque de la ville antique de Marbella (c) ; d, hypothèse de restitution de l'objet archéologique complet). Les résultats sont encourageants et ont mené à plusieurs publications.



Par ailleurs, X. Roulet (HERMA) a commencé une thèse en 2011 intitulée « Apport de la modélisation 3D à l'étude de l'éclairage de l'espace domestique dans l'Italie romaine » son projet s'appuie, en particulier, sur les architectures bien conservées de Campanie (Pompéi et Herculaneum). Ce sujet s'articule suivant deux approches. D'abord, l'acquisition des données architecturales sur le terrain, puis la modélisation 3D de l'architecture. Ensuite il s'agit de rendre compte de l'éclairage en fonction des textures recouvrant les murs, des moments de la journée et des saisons de manière à restituer l'ambiance lumineuse de ces maisons. Le but final est d'évaluer le type d'activité possible (lecture, tissage, couture...) dans ces espaces en fonction de l'éclairage.

La première année de cette thèse a été consacrée à une recherche documentaire et de terrain sur l'architecture domestique en Campanie afin de documenter les modèles 3D qui seront ensuite étudiés en collaboration avec le laboratoire XLIM-SIC pour un rendu réaliste d'un éclairage virtuel des espaces d'habitation et une mesure de l'éclairage en divers points de l'espace. X. Roulet a donc passé plusieurs mois à Rome et à Naples en 2012 (notamment via un financement de VISA) pour l'acquisition des données architecturales (novembre 2011-janvier 2012). Il s'est également initié à l'emploi de logiciels de modélisation 3D pour les utiliser sur des exemples réels observés en Italie. Le début de la deuxième phase de son travail, la modélisation de l'éclairage, est programmée en juin 2013.

2. Analyse et Caractérisation de l'état de surface, du relief et de la colorimétrie d'objets et structures archéologiques

À ce jour, l'équipe de M. Khoudair (XLIM-SIC) a développé une méthodologie de reconstruction 3D et colorimétrique de surfaces adapté au comportement physique et photométrique des objets archéologiques.

D'autre part, un déplacement sur site de fouilles (site archéologique de Bouto dirigé par le Pr. Pascale Ballet, HERMA) a permis d'évaluer les besoins terrains et d'étudier la question du cahier des charges nécessaire pour la transportabilité du matériel d'analyse sur site pour répondre à la contrainte de non sortie du territoire égyptien d'échantillons issus de fouilles.

Ces travaux ont donné lieu à une présentation en séminaire à l'Institut Français d'Archéologie Orientale (IFAO) au Caire de M. Khoudair et P. Ballet en 2009 sur le thème de l'acquisition et du traitement d'images pour l'archéologie. Ces travaux ont mené à un stage de master recherche M2 en 2010 (N. Boguet) sur « la caractérisation et la classification de matériaux archéologiques par analyse et traitement d'image » en termes d'aspect, texture et colorimétrie en lien avec P. Ballet et S. Marchand, céramologue à l'IFAO (Institut Français d'Archéologie Orientale, Le Caire, Egypte).

Cette collaboration s'est traduite en 2012 par un déplacement sur des sites de fouilles, un séminaire sur l'imagerie 3D à l'IFAO et deux articles en conférences internationales (voir section « Livrables »).

Un autre aspect concernait la visualisation des bâtiments de manière réaliste à partir des modèles géométriques et topologiques produits. Pour produire un affichage réaliste, les paramètres à prendre en compte sont la forme de l'objet, la manière dont il réfléchit la lumière et le positionnement des sources lumineuses. Le stage d'ingénieur de Q. Minster (XLIM-SIC) en 2010 a porté sur l'étude de la diffusion sous-surfacique de la lumière dans les matériaux. La prise en compte de ce phénomène est particulièrement intéressante pour produire l'affichage réaliste de certaines pierres d'édifices. À partir de cette étude, l'objectif était d'utiliser des photographies pour reproduire les phénomènes physiques et contrôler les différents paramètres des modèles. Q. Minster s'est en particulier attaché à étudier les nombreux modèles de diffusion sous-surfacique proposés dans la littérature. Il a également mis en place un système de simulation d'éclairage basé sur la méthode du tracé de photons, avec diverses expérimentations.

Plusieurs tests de rendu réaliste par simulation d'éclairage ont été réalisés avec des modèles de bâtiments fournis par le laboratoire HERMA (Fig. 30), dans l'objectif de préparer une chaîne de traitement visant à reproduire l'éclairage naturel à l'intérieur des habitats. Les premiers tests sont concluants, l'étude se poursuit avec de nouvelles constructions à Pompéi (thèse de Xavier Roulet), et l'acquisition à venir de matériaux anciens provenant de maisons romaines, pour réaliser d'autres simulations.

Liste des personnels recrutés en CDD, en vacation

Nom	Grade	Titre	Dates - Durée
Linlaud Mathieu	Doctorant	Utilisation de logiciels conventionnels pour la restitution 3D et mise en évidence de certains besoins spécifiques dans le cadre de l'archéologie	2007-2008 : 100h en vacation
Linlaud Mathieu	Doctorant	Utilisation de logiciels conventionnels pour la restitution architecturale 3D des trois sites archéologiques et participation à la réflexion sur les besoins spécifiques en 3D dans le cadre de l'archéologie.	2008-2009 : 230h en vacation
Linlaud Mathieu	Post-doctorant	Restitution 3D de sites archéologiques	Nov. 2011 - Mai 2012
Collado Emmanuelle	Master M2	Modélisation des céramiques du site de Bouto.	2008-2009 : 65h en vacation
Takouachet Nawel	Post-Doctorat	Développement d'un modèleur dédié à la (re-)construction de bâtiments archéologiques : création interactive de murs	Sep. 2009 - Sep. 2010
Dupas Alexandre	Post-Doctorat	Développement d'un modèleur dédié à la (re-)construction de bâtiments archéologiques : multi-résolution et hiérarchie	Fév. 2010 - Mai 2010

Minster Quentin	Ingénieur ISAE	Etude bibliographique et mise en oeuvre de modèles de diffusion lumineuse sous-surfacique	Jan. 2010 Juillet 2010
Thomas Mortreuil	Doctorat	Modélisation hiérarchique de bâtiments anciens	Octobre 2010- (en cours)



Fig. 30 : restitution d'une salle voûtée de l'abbaye de Fontdouce (Charente-Maritime) d'après les éléments architecturaux retrouvés écroulés. La modélisation 3D a été réalisée avec le logiciel 3DSMax par M. Linlaud. La restitution de l'éclairage a été effectuée par D. Meneveaux à partir du modèle architectural 3D.

Publications - Livrables

- [2007-2008]
 - Présentation de la restitution 3D de Taybeh dans le cadre du musée installé dans les vestiges de l'édifice, inauguré en juillet 2008.
 - GOUPEYOU F., *Modélisation d'éléments architecturaux structurés et hiérarchiques : définition du système hiérarchique*. Mémoire de stage d'ingénieur.
 - LINLAUD M., *Construction 3D de bâtiments*.
- [2008-2009]
 - Restitution 3D de deux édifices de la ville antique de Rom, avec explicitation de deux hypothèses architecturales. Mise en place spatiale du mobilier présent dans les pièces. Publication d'images issues de ce travail dans deux articles et utilisation future d'animations 3D dans le cadre du musée du site.
 - BLEUSE T., LE MEUR T., MAUGER J., MORTREUIL T., *Modélisation archéologique*. Mémoire de projet de recherche Master M1.
 - DIEUDONNÉ-GLAD N., *Un carrefour de rues dans l'agglomération de Rauranum*

(Rom, 79). In : BALLEP P., DIEUDONNE-GLAD N, SALIOU C. (dir.), *La rue dans l'Antiquité*. Actes du colloque international, Poitiers, septembre 2006, 2008 : 347-352.

- DIEUDONNÉ-GLAD N., Une agglomération routière antique : *Rauranum* (Rom, Deux-Sèvres). État des recherches, *Revue archéologique*, 45, 2008/1 : 206-217.
 - Restitution 3D des fours de Bouto et de leur chargement, avec plusieurs hypothèses d'élévation et d'organisation du chargement.
 - GOUPEYOU F., *Modélisation d'éléments architecturaux structurés et hiérarchiques : gestion des paramètres et des contraintes*. Mémoire de recherche Master M2.
 - KHOUDEIR M., BALLEP P., *Acquisition et traitement d'images pour l'archéologie*. IFAO, mai 2009.
- [2009-2010]
 - AKERMI R.Y., GUIBAULT A., LEROY F., *3D Graphics View Framework*. Mémoire de projet de recherche Master M1.
 - BOGUET N., *Caractérisation et la classification de matériaux archéologiques par analyse et traitement d'image*. Mémoire de recherche Master M2.
 - DUPAS A., *Développement d'un modèleur dédié à la (re-)construction de bâtiments archéologiques : multi-résolution et hiérarchie*. Mémoire de post-doctorat.
 - MAUGER J., *Modélisation de maison romaine*. Mémoire de recherche Master M2.
 - MORTREUIL T., *Propagation de contraintes pour la modélisation hiérarchique*. Mémoire de recherche Master M2.
 - TAKOUACHET N., *Développement d'un modèleur dédié à la (re-)construction de bâtiments archéologiques : création interactive de murs*. Mémoire de post-doctorat.
 - MINSTER Q., *Étude bibliographique des modèles de diffusion lumineuse sous-surfacique*. Stage ingénieur.
 - [2010-2011]
 - MORTREUIL T., *Étude de modèles topologiques pour la multi-résolution*. Rapport de recherche.
 - [2011-2012]
 - ABADI M., KHOUDEIR M. *Automatic texture characterization using image processing for archaeological application* - IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems [ICMCS'12](#), tenue du 10 au 12 mai. Tanger maroc
 - ABADI M., KHOUDEIR M., MARCHAND S. *Gabor filter-based texture features to archaeological ceramic materials characterization*. IAPR - International Conference on Image and Signal Processing (ICISP), juin 2012, Agadir, Maroc.
 - BALLEP P. Ballet, « Bouto/Tell el-Fara'in. État des recherches de la mission française », Centre culturel égyptien, Paris, 13 novembre 2012.
 - DIEUDONNÉ-GLAD N., Feugère, à paraître en 2013, *Zeugma V, les objets (à l'exception des monnaies et de la vaisselle)*, éditions de la Maison de l'Orient Méditerranéen, Lyon.
 - LINLAUD M. 2012. La serrurerie médiévale, l'exemple du XIVe s., *Histoire et Images médiévales*, 44, Juin-juillet, p. 30-35.
 - LINLAUD M. 2012. Serrure du coffre de Bessines, in Simon-Hiernard D. (dir.), *Amor à Mort, Poitiers, tombes remarquables du Centre-Ouest de la Gaule (IIe s. av. J.-C. – IVe s. ap. J.-C.)*, catalogue de l'exposition du Musée Sainte Croix de Poitiers, p. 51.
 - MORTREUIL T. , *Structures de suivi multi-résolution*. Rapport de recherche.

- [2013]
 - Xavier Roulet (Université de Poitiers / Sapienza - Università di Roma): “ ‘illuminazione dello spazio domestico nell'Italia romana, l'apporto della modellazione in 3D”, VI jornadas de Jovenes en Investigacion Arqueologica, Barcelone, 7-11 mai 2013.

Réunions - Séminaires - Colloques organisés

Les travaux visés par la présente sous-action étaient les premiers menés en commun par les laboratoires HERMA, LISI, SIC et LMS. Des réunions ont eu lieu avec tous les participants, afin de préciser les objectifs généraux de la sous-action et de prévoir les différentes phases de travaux.

Lorsqu'a été définie la première phase concernant les restitutions, des réunions régulières ont été organisées entre les membres concernés des laboratoires HERMA, LISI et XLIM-SIC, afin d'étudier précisément les besoins des archéologues en méthodes et outils de modélisation 3D et 3D + t, par rapport aux fonctionnalités offertes par les logiciels disponibles actuellement. Ces échanges, très constructifs, ont permis de définir précisément les fonctionnalités du logiciel souhaitées par les archéologues, dans des termes que les informaticiens pouvaient exprimer de manière logicielle.

Des séances mensuelles puis hebdomadaires ont réuni les membres concernés des laboratoires SIC et LISI, afin de proposer de nouvelles méthodes de modélisation dédiées. Des réunions d'avancement ponctuelles régulières (3 ou 4 par an) ont eu lieu entre l'HERMA, le LISI et le XLIM-SIC.

D'autre part, la réflexion engagée sur les restitutions archéologiques a été présentée dans le cadre du colloque de la MSHS de Poitiers des 1-3 octobre 2008 (150 participants).

Collaborations internationales

HERMA et le XLIM-SIC ont collaboré avec plusieurs pays (Égypte, Palestine, Libye...) dans le cadre de fouilles archéologiques pour exhumer des vestiges et créer des maquettes de bâtiments, à but scientifique et pour présenter les résultats au grand public. Un projet européen a été déposé sur ce thème avec des partenaires espagnols et portugais dans le cadre du réseau INTERREG SUDOE.