



HAL
open science

CPER 2007-2013. Bilan scientifique 2007-2010 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 2007-2010 de l'action CREDO/VISA "Reconstruction et Visualisation de données archéologiques et architecturales". [Travaux universitaires] Université de Poitiers; XLIM; HERMA. 2010. hal-02464088

HAL Id: hal-02464088

<https://hal.science/hal-02464088>

Submitted on 2 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 2007-2010

Coordinatrice scientifique Axe B : Hélène Chuquet
Coordinatrice **projet 10 "Images et interactivités"** : C. Fernandez-Maloigne
Coordinateur **projet 11 "Apprentissage education 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

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

Rédacteur : X. Skapin

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

- N. Dieudonné-Glad (Herma, Université de Poitiers),
- P. Lienhardt (XLIM-SIC, Université de Poitiers) auquel a succédé X. Skapin (XLIM-SIC, Université de Poitiers) depuis le 1er juillet 2009.

Partenaires :

Université de Poitiers / CNRS / ENSMA:

Ne sont indiqués ici que les enseignants-chercheurs permanents qui sont intervenus dans les travaux menés entre 2007 et 2010.

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

1- Bilan

1.1. Rappel synthétique du contexte

Le cadre de travail consiste à fournir des outils aux archéologues pour restituer des volumes d'une salle effondrée et ayant subi de multiples remaniements (dégradations dues au passage du temps ou à la réutilisation de parties de bâtis dans d'autres pièces, voir illustration 1).

La reconstruction virtuelle et la visualisation de bâtiments anciens sont des domaines assez largement couverts à travers le monde. On distingue deux grandes familles d'approches :

- la reconstruction à l'identique de (parties de) bâtiments, à l'aide d'outils de mesure assez lourds à manipuler (laser et scanners 3D, appareils photos) et relativement coûteux. De plus, la quantité d'information récupérée (nuages de plusieurs millions de points) pose à elle seule des problèmes de stockage et de gestion mémoire efficace ;
- l'interprétation de données issues du terrain (plans, ruines...) et la description historique de bâtiments pour les reconstruire à l'aide d'outils de modélisation 3D.



Illustration 1 : vestiges

Notons également que certains travaux se consacrent à la modélisation d'entités architecturales par des opérations ad hoc, mais se limitent quasi-exclusivement à la création de colonnes, et nombreuses sont les autres entités qu'il conviendrait de modéliser.

Les maquettes virtuelles résultant de ces travaux sont visuellement attractives, mais le procédé même de construction ne correspond pas à la réalité sur le terrain : les fouilles archéologiques sont destructives dans la mesure où elles détruisent une partie du site. Il faut donc faire des *hypothèses de construction* avant les fouilles et extrapoler les résultats après. Notre intention est donc de créer un logiciel de modélisation 3D permettant de tester ces hypothèses et de multiplier les restitutions basées sur chaque hypothèse au public.

1.2. Objectif global

Il s'agit 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.

Plus précisément, nous devons proposer :

- des méthodes spécifiques d'acquisition, de traitement et d'analyse d'images pour l'étude de (parties de) bâtiments (bas-reliefs, etc) et de sites ;
- de nouveaux modèles de représentation hiérarchique et des méthodes de manipulation interactive pour ces scènes constituées de grandes masses de données, afin d'obtenir plusieurs niveaux de représentation (du très détaillé au très grossier) des bâtiments et des sites ;
- des méthodes robustes de réévaluations partielles ou totales des modèles hiérarchiques obtenus ;
- des méthodes de rendu réalistes dédiées à ces scènes de grande dimension ;
- des méthodes, interactives ou non, permettant de simuler l'évolution des bâtiments et des sites au cours du temps.

Les travaux de restitution portent sur des secteurs cohérents d'occupation ancienne ayant fait l'objet d'études archéologiques systématiques dans le cadre de programme de fouilles. Il s'agit, à l'aide d'une instrumentation infographique 3D, de tester des hypothèses de restitution de bâtiments ou de quartiers dans leur volume et leur environnement originel. Ces restitutions virtuelles pourront constituer des documents de travail pour des projets de restauration de vestiges. Plusieurs projets sont ainsi concernés :

- Site de Rauranum (Rom, 79, agglomération antique) : rationalisation des prises de décisions en explicitant les critères retenus à chaque étape.
- Site de Bouto (Delta du Nil, Egypte) : prise en compte de critères de restitution architecturaux et techniques (fonctionnement des fours de poterie, évaluation de leur ergonomie).
- Site de Taybeh (Territoires Autonomes, Palestine) : reconstruction 3D présentant les différentes phases architecturales (appui au projet de restauration d'une partie du site en permettant d'évaluer les hypothèses de reconstruction. Les images créées sont à intégrer au musée archéologique mis en place sur le site).
- Site de Latrun (Cyrénaïque, Libye) : restitution 3D des deux basiliques chrétiennes édifiées dans le village antique, afin de mieux saisir l'évolution d'un village depuis l'époque hellénistique jusqu'à l'arrivée des musulmans à partir de ses principales composantes.

Pour la période médiévale, des recherches de terrain très avancées ou en cours de publication permettent d'envisager une restitution des volumes et des circulations d'un certain nombre de châteaux et habitats aristocratiques des Xe- XIVe s. Les restitutions 3D prévues ont pour objectif principal de nuancer le cliché traditionnel du château qui apparaît plus aujourd'hui comme une conception du XIXe s. que comme une réalité médiévale. Ces projets s'intègrent tous à des projets de mise en valeur des sites.

En ce qui concerne l'architecture religieuse, un projet en cours sur les techniques de construction de la cathédrale de Poitiers, en collaboration avec des ingénieurs du génie civil, nécessite des modes de représentation tridimensionnels, en particulier pour les charpentes, voûtes et toitures.

Dans tous les cas, ces travaux seront menés en équipe, avec mise en commun des réflexions méthodologiques et déboucheront sur une diffusion des résultats en direction de la communauté scientifique et du grand public, dans le cadre de présentations muséographiques, constituant un attrait touristique.

1.3. Bilan des actions réalisées

Cette sous-action a réuni pour la première fois des membres des laboratoires HERMA, LISI, XLIM-SIC et LMS, sur des problématiques nouvelles pour les participants. Les premiers travaux menés en 2007-2008 ont donc consisté à présenter de manière fine des problèmes rencontrés, en particulier par les archéologues, afin d'identifier très précisément les pistes à explorer.

Deux axes de travail parallèles ont rapidement été identifiés. Le premier s'attache à analyser et caractériser les propriétés physiques et photométriques d'objets issus de fouilles pour les reproduire sur des objets virtuels (section 1.3.1). Le second a pour objectif de développer un logiciel de modélisation dédié aux archéologues pour construire des bâtiments virtuels complexes et tester des hypothèses de reconstruction (section 1.3.2).

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

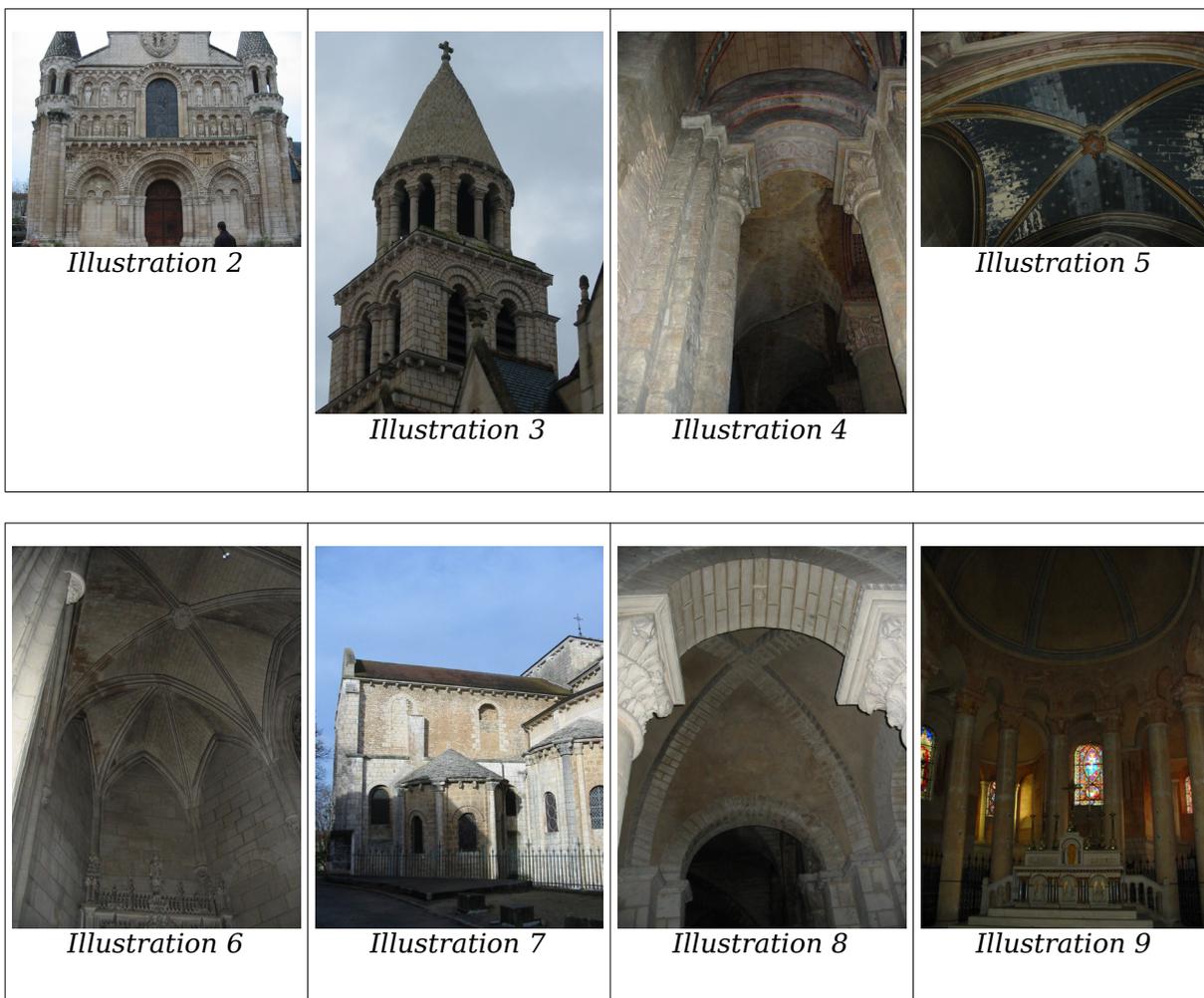
À ce jour, l'équipe de M. Khoudeir a développé une méthodologie de reconstruction 3D et colorimétrique de surfaces adapté au comportement physique et photométrique des objets archéologiques. D'autre part, un déplacement sur site de fouilles (site archéologique de Bouto géré par le Pr. Pascale Ballet) 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. Khoudeir et P. Ballet en 2009 sur le thème de l'acquisition et du traitement d'images pour l'archéologie. D'autre part, un stage de master recherche M2 est actuellement en cours (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.

1.3.2. Logiciel de modélisation de bâtiments anciens

Nous avons décidé que les premiers travaux communs sur la durée 2007-2010 porteraient principalement sur la conception et l'expérimentation d'opérations géométriques 3D spécifiques, afin de faciliter le travail de l'archéologue pour la production de bâtiments anciens (correspondant à différentes hypothèses de reconstruction). Une étude approfondie de manuels d'architecture a été entreprise et entretenue 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, suite à des reportages photos réalisés par les membres de XLIM-SIC et LISI, dans des bâtiments religieux (illustrations 2 à 9).



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 et achevés en 2008-2009 et mis à disposition de la structure muséale palestinienne.

En 2007-2008, des réflexions concernant les hypothèses de restitution des bâtiments gallo-romains de Rom (Deux-Sèvres) et de fours de potiers de Bouto (Egypte) ont été menées, alimentant également la réflexion concernant les opérations de reconstruction 3D. L'année suivante, ces bâtiments ont été modélisés par M. Linlaud (via le logiciel 3DSMax, voir illustrations 10 à 14) et leur mobilier restitué (plancher, céramiques, meubles, etc.), sans que toutes les hypothèses envisageables puissent être testées, dues aux limitations du logiciel employé. En particulier, les archéologues ont besoin :

- de travailler sur la forme d'un objet (souvent dégradé par le temps ou l'intervention humaine), déterminante pour préciser sa fonction : modéliser *très finement* des objets est donc souhaitable. Réciproquement, une modélisation *grossière* peut suffire, pour construire rapidement des bâtiments sans devoir construire au préalable chaque bloc de pierre les composant) ;
- d'utiliser des opérations de *modélisation 3D complexes* à partir de plans, qui ne soient pas de simples extrusions (par exemple, à partir de la représentation d'une ogive sur un plan 2D sur lequel se basent les archéologues, reconstruire automatiquement cette ogive en 3D) ;
- de disposer d'outils qui facilitent la création d'objets complexes en évitant de devoir, à chaque modification de la maquette, détruire puis recréer le reste de la maquette pour tenir compte de cette modification. La *gestion de l'historique du processus de construction* accélérerait donc considérablement le travail des utilisateurs. Les illustrations 13 et 14 sont le parfait exemple de cette problématique : compte tenu du contexte culturel, les deux hypothèses de reconstruction sont aussi valides l'une que l'autre. Mais chaque maquette doit être recréée quasi-entièrement pour chaque

hypothèse, alors que l'on souhaiterait modifier une reconstruction automatique à chaque modification de la maquette ;

- enfin, de nombreux objets créés séparément (par exemple deux colonnes et une arche) doivent être « collés » pour former un tout (une porte constituée des deux colonnes supportant l'arche). Des *relations de voisinage (topologiques)* entre les objets doivent donc être définies.

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.



Illustration 10 : composants d'une porte

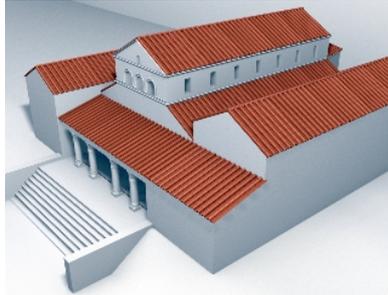


Illustration 11 : maison à deux étages

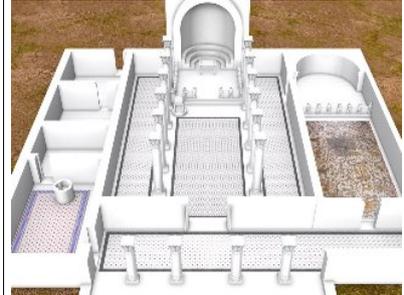


Illustration 12 : bâtiment



Illustration 13 : hypothèse de reconstruction sans avant-toit.



Illustration 14 : hypothèse de reconstruction avec avant-toit.

En parallèle à ces travaux, des données texturales ont été acquises sur le site de Bouto en 2007-2008 et un travail portant sur ces textures a été réalisé, tandis que la restitution de l'élévation des fours de potiers et la modélisation de leur chargement a été poursuivie en 2008-2009 (illustrations 15 et 16). De premières hypothèses archéologiques sur le nombre de céramiques produites par les fours ont pu être développées à partir de cette approche. D'autre part, des premiers essais de relevés de couleurs d'enduits peints ont été réalisés à Rom dès 2007-2008 : ces données seront utiles en particulier pour des travaux menés dans la seconde phase de VISA, concernant l'analyse de surfaces et le rendu réaliste.



Illustration 15 : modélisation d'une céramique.

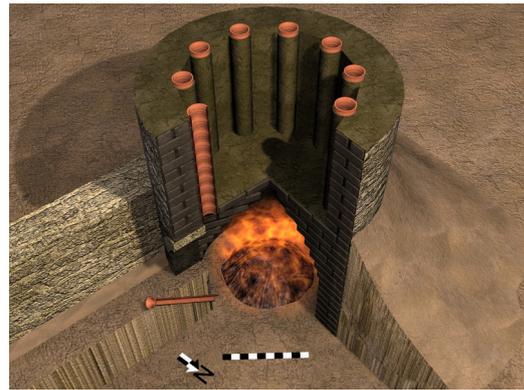


Illustration 16 : modélisation de fours de potiers.

La réflexion sur la modélisation 3D a été soumise aux laboratoires XLIM-SIC et LISI et a mis en relief la notion complémentaire de *hiérarchie*, permettant de manipuler des structures architecturales de complexité variable (depuis des bâtiments entiers jusqu'aux composants élémentaires d'une colonne ou d'un pilier, par exemple). 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 (voir livrables) :

- d'un projet de master M1 (T. Bleuse, T. Le Meur, T. Mortreuil et J. Mauger, 2008-2009) suivant une approche « descendante » consistant à décomposer récursivement une structure architecturale (en l'occurrence, le plan 2D d'une église) en structures élémentaires (l'église est divisée en chœur, transept et nef, chacun d'eux étant à son tour subdivisé et muni de colonnades), tout en conservant les liens sémantiques et géométriques du modèle global. Cette approche a permis de mettre en exergue les différentes opérations de modélisation à définir, spécifiques au contexte archéologique (illustrations 17 à 21).

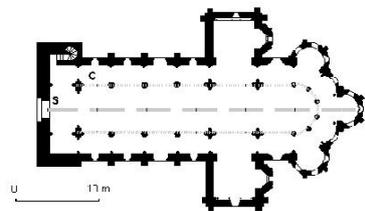


Illustration 17 : plan 2D d'une église.

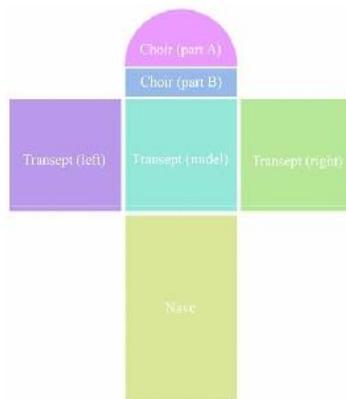


Illustration 18 : découpage en sous-éléments.

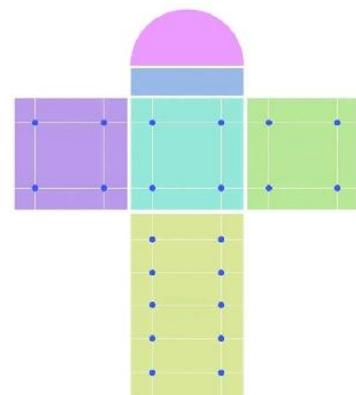


Illustration 19 : insertion de colonnades.

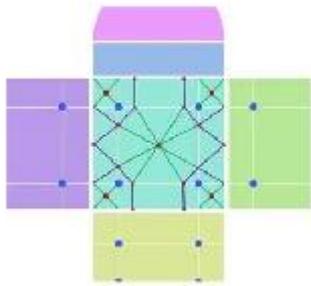


Illustration 20 : projection des éléments d'une voûte

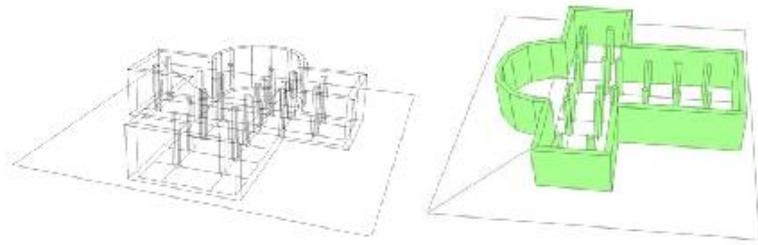


Illustration 21 : extrusion des entités 2D.

- d'un stage d'ingénieur suivi d'un master recherche (F. Goupeyou, 2007-2008 et 2008-2009), via une approche « ascendante » dans laquelle on commence par construire, des structures architecturales 3D élémentaires que l'on assemble récursivement pour obtenir une structure plus complexe. Le cas d'étude portait sur la création d'une porte à partir de ses composantes (colonnes et voûte), une colonne étant elle-même composée de plusieurs sous-éléments (voir l'illustration 22).

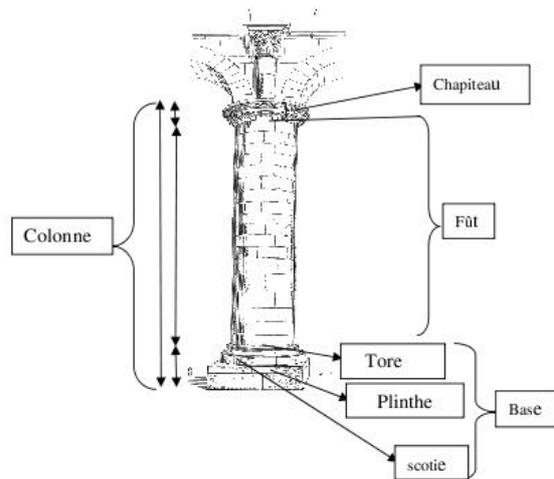


Illustration 22: composition d'une colonne.

Le stage d'ingénieur a produit une structure hiérarchique arborescente, implémentée dans la plate-forme de développement et associant la description d'une hiérarchie en termes architecturaux (i.e. une porte est formée d'un arc et de deux colonnes, elles-mêmes composées de sous-éléments, etc. : voir illustration 23) aux objets modélisés en 3D et “collés” par des relations de voisinage dites topologiques (illustration 24).

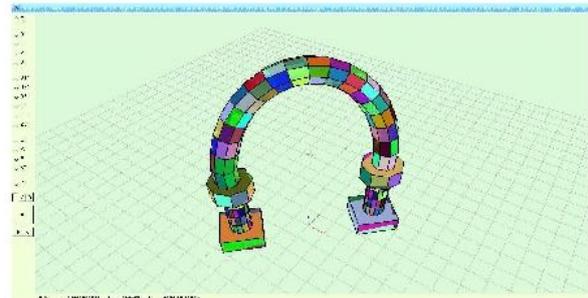
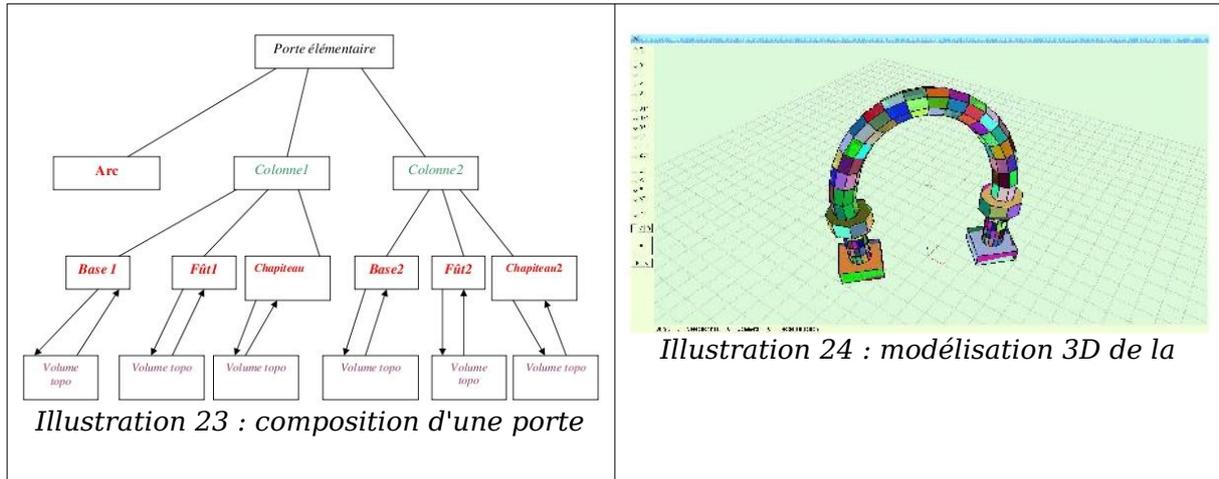


Illustration 24 : modélisation 3D de la

Ces travaux ont naturellement débouché sur la problématique suivante : lorsque l'utilisateur modifie un paramètre d'une entité (par exemple la hauteur H_f du fût de la colonne de l'illustration 25), on s'attend à ce que cette modification soit propagée à travers la structure (en l'occurrence, la hauteur H_{col} de la colonne devrait être mise à jour). Il s'agit donc de définir des contraintes reliant des paramètres entre eux, et de proposer dans le logiciel un solveur de contraintes pour calculer tous les paramètres nécessaires à la mise à jour des entités en fonction des paramètres donnés par l'utilisateur.

Dans son stage de master recherche, F. Goupeyou a exprimé les contraintes sous forme de graphe (voir illustration 26) : chaque paramètre est représenté par un cercle, chaque contrainte par un rectangle, et chaque arête représente l'appartenance d'un paramètre à une contrainte. Résoudre les contraintes revient à lister les contraintes et définir un ordre de résolution débouchant sur une unique solution (système bien contraint), plusieurs solutions (système sous-contraint) ou aucune (système sur-contraint). Dans ce travail, seuls des systèmes bien contraints simples ont été envisagés et résolus de manière *ad hoc* (i.e. non automatique), pour aboutir à coup sûr à une solution, mais en restreignant du même coup la richesse d'utilisation potentielle de l'outil.

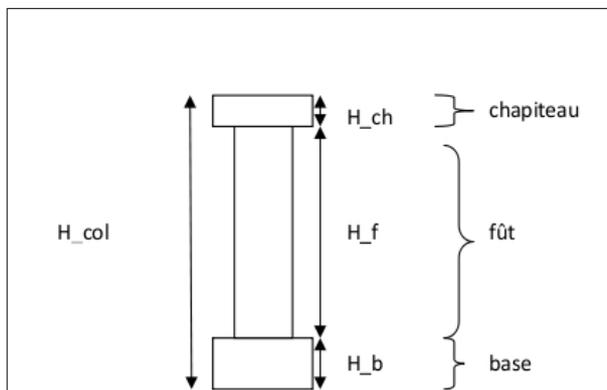


Illustration 25 : paramètres de hauteur d'une colonne et des ses composants.

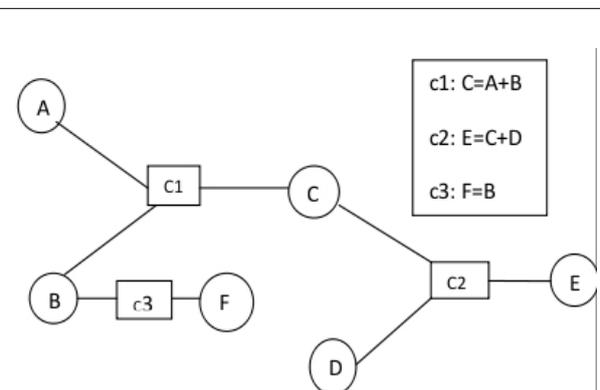
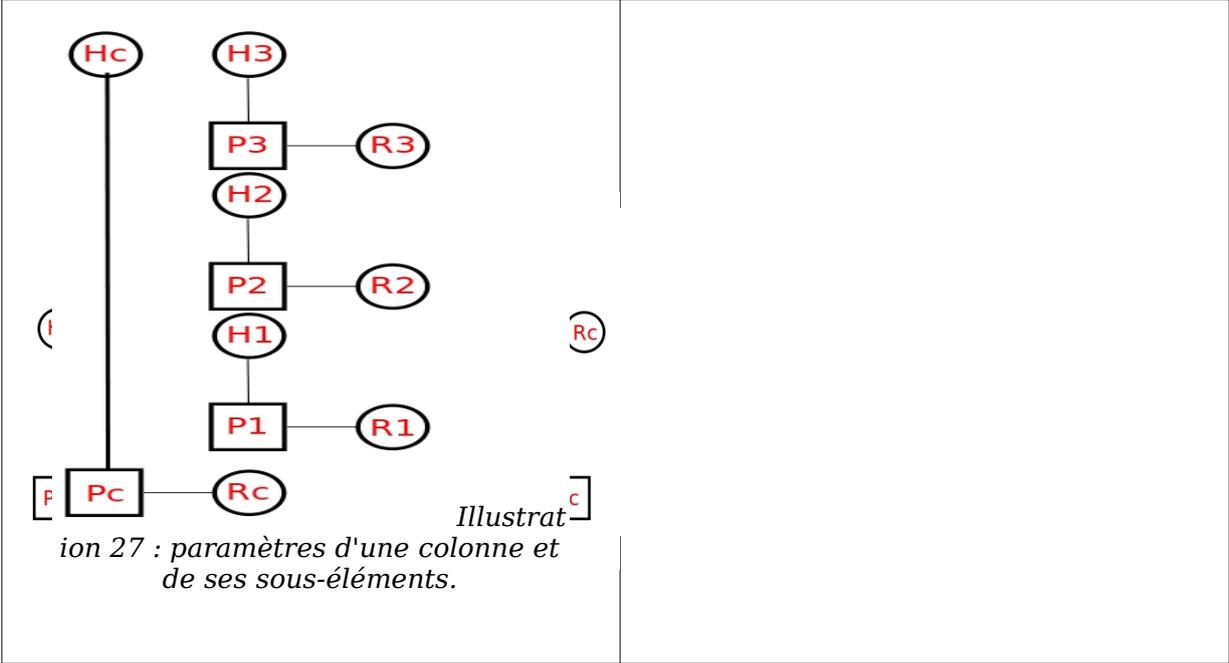


Illustration 26 : un graphe de contraintes c_1 , c_2 et c_3 sur les paramètres A à F.

Depuis 2009, deux stages de master recherche (J. Mauger et T. Mortreuil) et le recrutement de deux post-doctorants (N. Takouachet et A. Dupas) partagés entre le XLIM-SIC ont permis de progresser de front sur divers axes de développement. Tous ces travaux sont en cours à l'heure où ce bilan est rédigé.

T. Mortreuil a repris et étendu les travaux de F. Goupeyou. À l'heure actuelle, il propose déjà un système de résolution automatique d'un système de contraintes, permettant de tester plusieurs hypothèses de travail sans

modifier tout le modèle. L'illustration 27 affiche les paramètres **Hc**, **Pc** et **Rc** d'une colonne et ceux des éléments qui la composent tandis que l'illustration 28 montre les contraintes entre ces paramètres.



Une capture d'écran de l'outil dans son état actuel est affichée dans l'illustration 29.

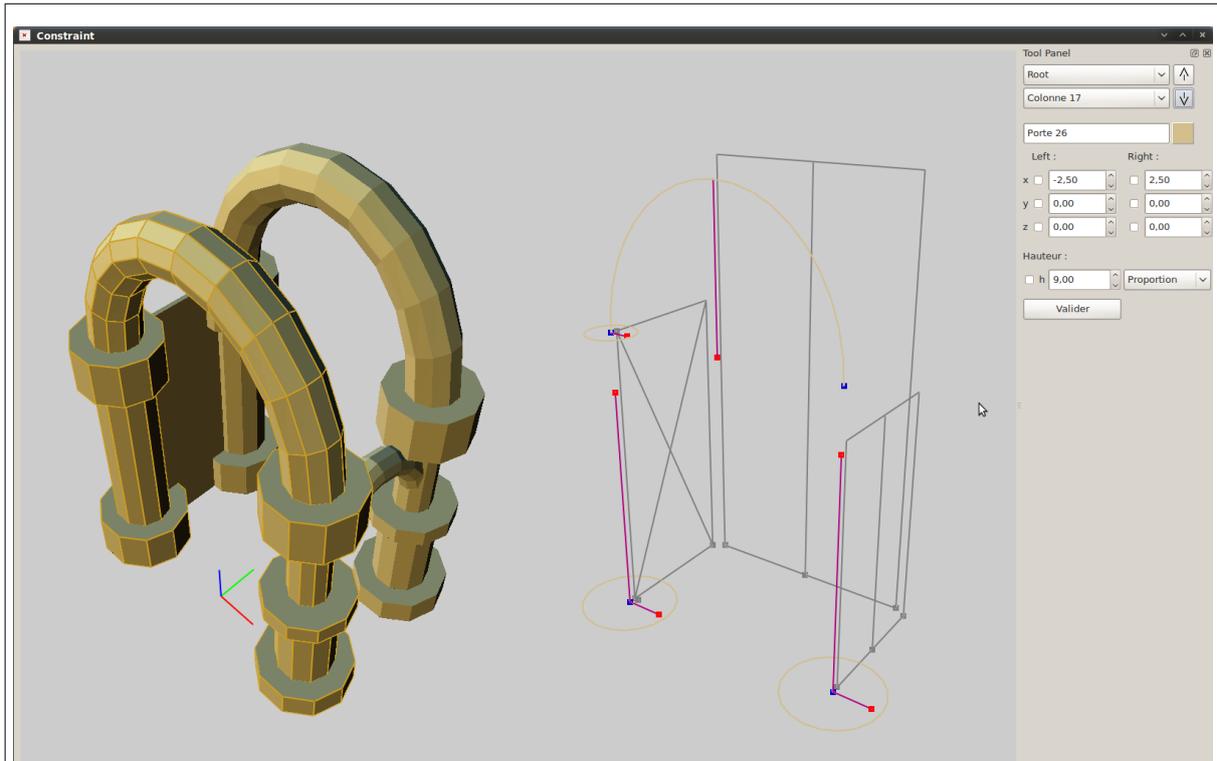


Illustration 29 : modélisation et contraintes. À gauche, une composition reliant des arches et une porte. Au milieu, une représentation symbolique des paramètres et des contraintes qui les lient. À droite, un menu permettant de modifier interactivement les paramètres et de calculer la résolution de contraintes avec leurs nouvelles valeurs.

En parallèle, N. Takouachet et A. Dupas ont pris en main à tour de rôle le pilotage du projet pour coordonner les tâches des divers intervenants, tout en participant activement à la conception et à la réalisation du logiciel de modélisation à partir de plans.

N. Takouachet a commencé par reprendre les travaux du groupe de Master M1 sur les plans d'église pour élaborer des scénarios de placement des éléments constituant une église (nef, transept, chœur) et décomposer ces derniers en sous-éléments contenant des colonnades (illustrations 30 à 33).

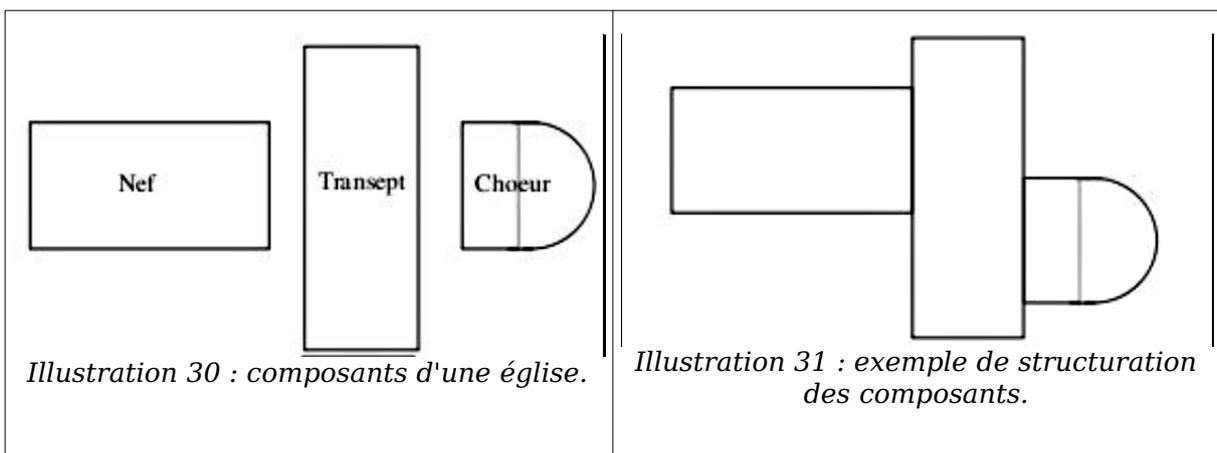
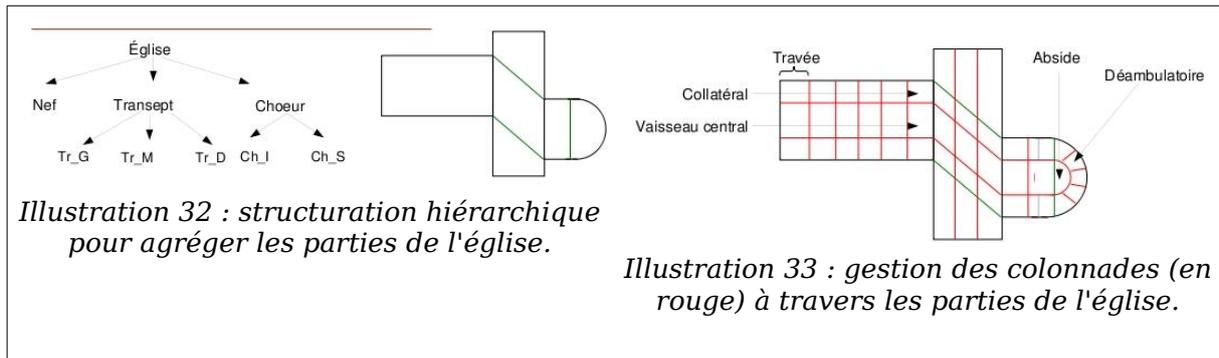
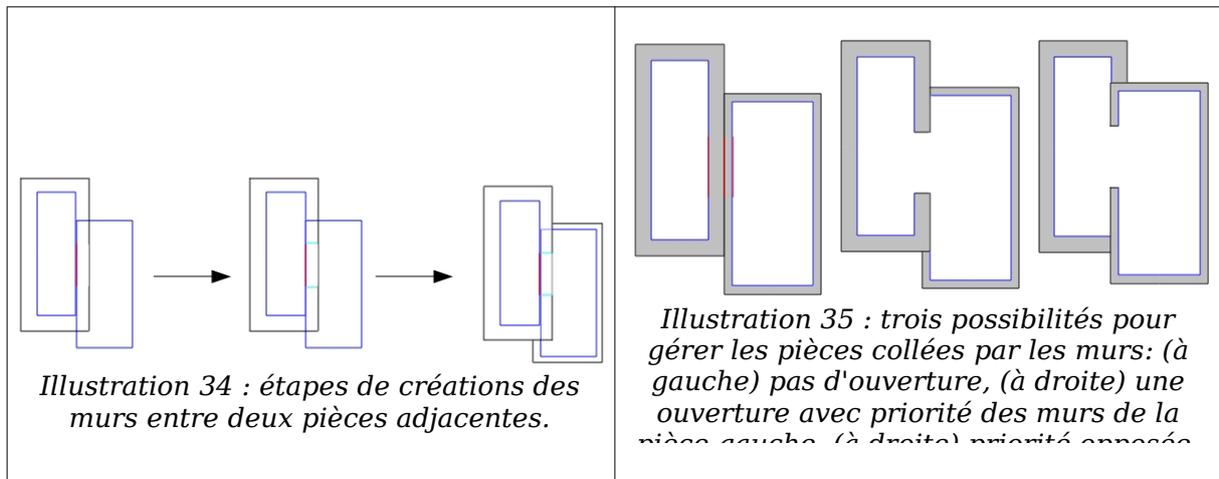


Illustration 30 : composants d'une église.

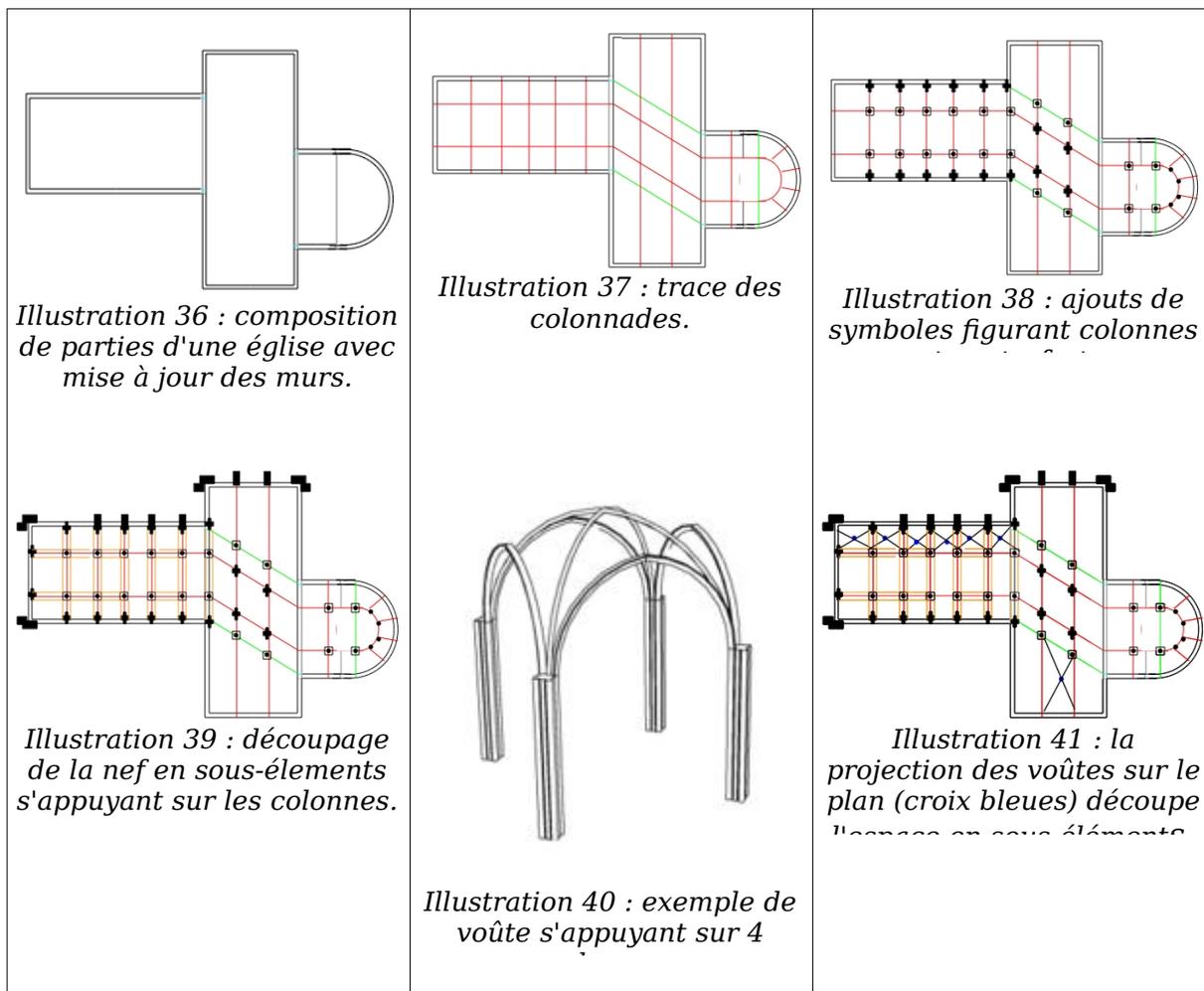
Illustration 31 : exemple de structuration des composants.



N. Takouachet s'est concentrée sur la méthodologie de travail des archéologues pour construire interactivement différents éléments de bâtis (murs, portes, fenêtres, colonnes, piliers, toits... ; les illustrations 34 et 35 montrent un exemple de placement de pièces adjacentes avec mise à jour des ouvertures et de l'épaisseur des murs intérieurs et extérieurs). Il faut noter que chacun de ces éléments est associé à une méthodologie de création spécifique et proposer un logiciel convivial suffisamment riche pour proposer toutes ces méthodologies demande un important travail de conception et de réalisation.



La juxtaposition de ces travaux a permis de modéliser des plans d'église assez détaillés avec une décomposition structurelle récursive de l'église en sous-éléments (différentes étapes du processus de construction sont montrées dans les illustrations 36 à 41). À chaque étape, l'espace 2D est découpé en sous-éléments correspondant à des niveaux de hiérarchie croissants. Actuellement, ces plans sont créés manuellement mais une prochaine étape est de proposer des outils de création (semi-)automatiques aux archéologues pour accélérer la création d'objets complexes.

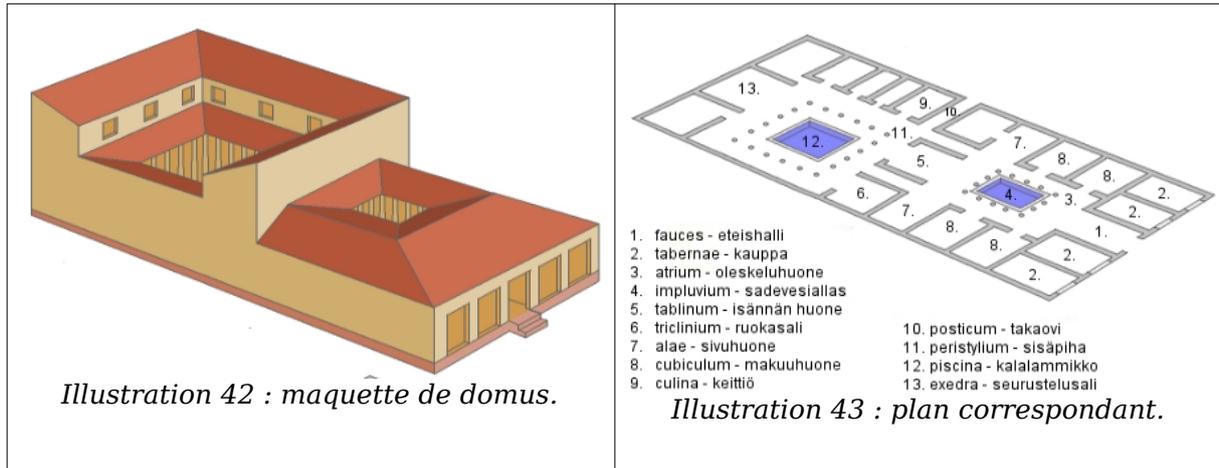


Ces travaux ont révélé le besoin de nombreuses opérations complexes de modélisation qui rendraient difficile la mise au point rapide d'une maquette logicielle utilisable par les archéologues. Nous avons donc décidé de nous concentrer sur la construction de bâtiments plus simples géométriques, à savoir les maisons romaines.

N. Takouachet a piloté les premières réunions visant à établir la méthodologie de construction de ce type de bâtiment, et elle travaille actuellement sur plusieurs scénarios de modélisation. Des réunions avec les archéologues ont permis de définir les fonctionnalités utiles dans le modèleur. Le principe directeur est de prévoir différents scénarios de construction possibles tout en laissant le contrôle complet à l'utilisateur en termes de modifications. L'archéologue doit pouvoir tester de manière interactive plusieurs hypothèses de restitution sans devoir re-modéliser tout le bâtiment. Il est également important de prévoir des opérations qui facilitent la modélisation comme *Dupliquer des éléments existants* ou *Relier des éléments et des parties modélisés séparément*.

Les travaux de J. Mauger et d'A. Dupas s'inscrivent dans ce cadre, pour permettre aux archéologues de construire rapidement des plans de bâtiments en vue de leur exportation en 3D. A. Dupas a commencé par développer une nouvelle interface graphique basée sur la bibliothèque Qt. Cette interface permet de dessiner rapidement, et avec un retour d'information important, des murs et des pièces sur un plan. Le modèle s'appuie sur la plate-forme logicielle du XLIM-SIC.

La première tâche de J. Mauger a été de rechercher dans la bibliographie des plans 2D de maisons romaines (domus) qui partagent pour la plupart un squelette semblable, présenté dans les illustrations 42 et 43.

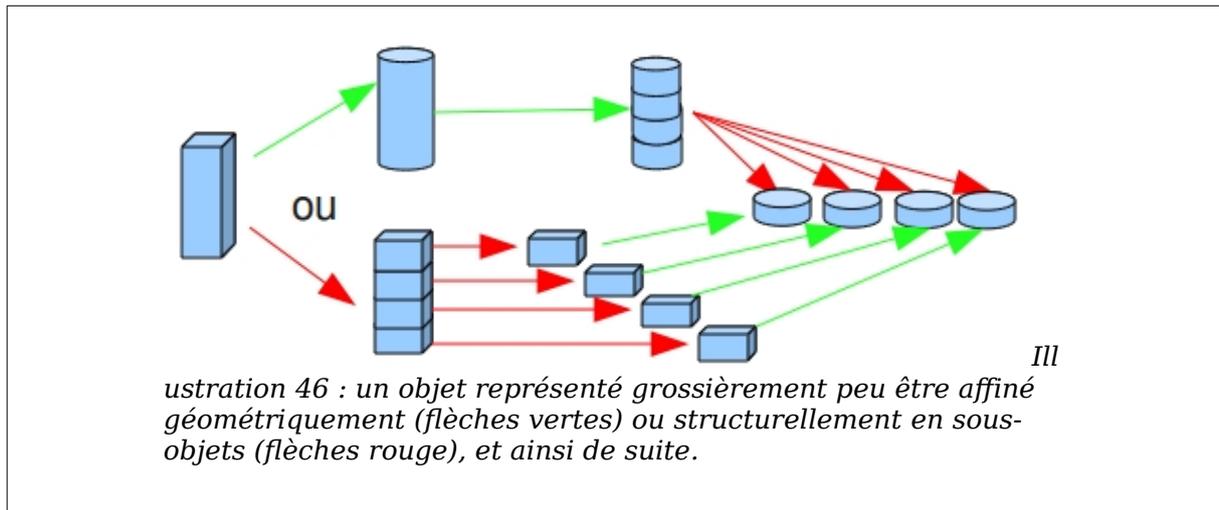


J. Mauger a repris les concepts élaborés par N. Takouachet et fourni un logiciel de création 2D à base topologique de pièces romaines avec gestion des murs intérieurs et extérieurs et de la hiérarchie (chaque pièce contient d'autres pièces et ainsi de suite, voir illustrations 44 et 45). Il faut souligner que ce logiciel propose une interface adaptée à la méthodologie de création des archéologues.

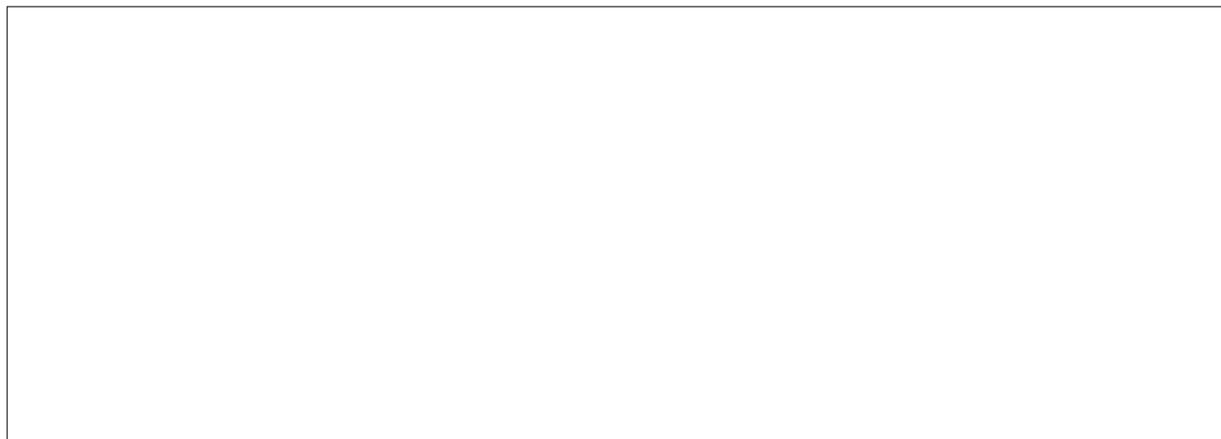


Actuellement, ce mécanisme limite la forme des pièces à des quadrilatères. J. Mauger et A. Dupas travaillent sur une version améliorée permettant de construire des pièces de forme quelconque séparées par des murs d'épaisseur variable, en ajoutant des contraintes de positionnement permettant d'assurer une certaine cohérence dans la modélisation, en cas de modification d'un paramètre tel que l'épaisseur d'un mur par exemple.

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* et de la *composition* ; le principe, représenté dans l'illustration 46, est le suivant. On utilise d'abord une représentation simplifiée des objets à faible niveau de détail (ou "niveau de résolution"). Deux choix sont ensuite possibles : soit l'objet est affiné structurellement sans modification de la géométrie (on dira qu'il est composé de plusieurs éléments), soit il est affiné géométriquement (*i.e.* est représenté avec une résolution plus fine) en remplaçant la représentation simplifiée par la forme originale de l'objet. Cette représentation va à son tour s'affiner structurellement (nouvelle composition) et ainsi de suite. A. Dupas a proposé un modèle à base topologique supportant ces fonctionnalités et il travaille actuellement sur son implémentation.



Notons que cette réflexion a fait émerger un nouveau concept : la *multi-partition*. Cette notion consiste à associer une notion sémantique aux entités modélisées. Par exemple, dans le cas de la maison romaine, on peut partitionner les pièces par fonctionnalité (lieux de vie, lieux privés) et par utilisateur (maître, esclave). Une pièce peut donc faire partie de plusieurs partitions au gré de l'archéologue, d'où le nom. Un exemple de multi-partition et de composition hiérarchique est montré dans l'illustration 47 (tirée d'un article en cours de rédaction par A. Dupas).



Enfin, A. Dupas s'intéresse également au rejeu du processus de création de bâtiments, qui consiste à enregistrer les étapes de ce processus, à modifier un ou plusieurs paramètres de ces étapes (par exemple, l'épaisseur ou le nombre d'ouvertures d'un mur), et à laisser le reste du processus se dérouler en prenant en compte les modifications réalisées (on parle de système paramétrique). Que ce soit pour cette problématique ou celle de la multi-partition, A. Dupas s'appuie dans ses recherches sur des travaux antérieurs réalisés au XLIM-SIC et au LISI. Il co-encadre également avec X. Skapin un stage de Master 1 (R.Y. Akermi, A. Guilbault, F. Leroy) ayant pour but de développer une bibliothèque de visualisation 3D dont nous nous servons pour visualiser et interagir avec les modèles des bâtiments en 3D. Il reste à mesurer précisément la quantité de travail nécessaire pour intégrer ces travaux au logiciel final.

1.4. 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
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 - (en cours)
Dupas Alexandre	Post-Doctorat	Développement d'un modèleur dédié à la (re-)construction de bâtiments archéologiques : multi-résolution et hiérarchie	Fév. 2010 - (en cours)

1.5. 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.
 - DIEUDONNE-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] (Travaux en cours)
 - 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.

1.6. 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 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. Au préalable, un effort particulier a consisté à partager un "vocabulaire commun" entre archéologues et informaticiens, pour que chaque groupe saisisse le sens précis des termes, tant relevant du monde architectural que logiciel, évoqués par l'autre. L'une des difficultés principales était de transposer les règles de composition des structures architecturales et le vocabulaire associé à des modèles utilisables en informatique. 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 réunions supplémentaires ont porté sur l'étude de logiciel d'architecture de bâtiments actuels : l'ergonomie de ces derniers a été soulignée, mais aucun ne supporte les mécanismes de hiérarchie et opérations d'hypothèses de construction que nous cherchons à mettre en place.

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 (3 ou 4 par an) sont programmées avec l'HERMA.

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).

1.7. Collaborations internationales

L'HERMA et le XLIM-SIC collaborent avec plusieurs pays (Égypte, Palestine, Libye...) dans le cadre de fouilles archéologiques pour exhumers des vestiges et créer des maquettes de bâtiments, à but scientifique et pour présenter les résultats au grand public.

2- Perspectives

2.1. Perspectives 2010-2013

La seconde phase de VISA doit mener à l'intégration des travaux sur les propriétés photométriques des entités et leur rendu réaliste dans le logiciel de modélisation 3D, mais les deux axes de travaux doivent d'abord être menés de front avant d'être fusionnés pour produire l'outil final.

2.1.1. Rendu réaliste

En ce qui concerne le rendu réaliste, l'une des problématiques est la restitution de couleurs de fresques, notamment pour les problèmes d'images couleur qui s'affichent différemment selon les périphériques (écrans, imprimantes...) et nécessitent de définir des caractéristiques métrologiques et photométriques de chaque entité modélisée, reproduisant l'effet visuel le plus réaliste possible, quelque soit le support de visualisation. Cet axe fera intervenir en particulier :

- F. Brémand (LMS) pour analyser et récupérer les caractéristiques physiques des objets
- M .Khoudeir du XLIM-SIC, sur plusieurs thèmes :

- finalisation de l'approche de reconstruction 3D pour l'analyse et la reconstruction de la surface d'objets archéologique
- réalisation d'un prototype transportable sur le site de fouilles égyptien
- développement d'une campagne d'acquisition et de mesures sur le site de Bouto à partir du prototype élaboré
- extension de l'approche de classification à la prise en compte des caractéristiques de rugosité 3D de l'état de surface des différents matériaux archéologiques
- développement de modèles « image » de vieillissement des matériaux et objets en fonction du temps d'une part et de la température d'autre part, pour prendre en compte leurs impacts sur l'apparence de la surface, sa couleur et son état de surface
- extension des différentes approches à l'analyse de timbres amphoriques

D'autre part, il s'agira d'améliorer l'aspect visuel des bâtiments créés avec le logiciel à l'aide de données physiquement réalistes. D. Méneveux (XLIM-SIC) mène actuellement une réflexion à ce sujet et a déjà programmé au moins un encadrement de stage est prévu dans ce cadre.

2.1.2. Logiciel de construction 3D

En parallèle, la poursuite du développement du logiciel de construction 3D sera poursuivie, pour intégrer, dans l'ordre :

- les fonctionnalités de multi-résolution, de hiérarchie et de partition dans le plan construit par les archéologues
- dans le cadre de la construction de maison romaines, compléter l'outil de construction 2D (gestion des murs, portes, ouvertures, colonnes, trace de la toiture), intégrer la propagation de modification des paramètres associés aux entités et définir des opérations de modélisation adaptées au passage à la 3D à partir du plan
- intégrer les outils permettant de tester les hypothèses de construction par des outils (semi-automatiques)
- reprendre et étendre ces fonctionnalités pour la modélisation de bâtiments plus complexes tels que les bâtiments religieux.

Une première maquette fonctionnelle est attendue pour la fin de l'année 2010, permettant de produire des résultats menant à au moins une publication dans le domaine de l'archéologie. De plus, le modèle et les opérations géométriques développés donneront lieu à des publications dans le domaine informatique.

Ces travaux seront pilotés par P. Lienhardt, D. Marcheix et X. Skapin, assistés par l'expertise de N. Dieudonné-Glad. De plus, les archéologues de l'HERMA continueront les fouilles sur le terrain pour enrichir le logiciel de construction et de visualisation en données.

2.1.3. Synthèse des travaux

Nous prévoyons de mener les axes de travaux cités ci-dessus en parallèle jusqu'en 2011, puis un travail de fusion sera entamé pour intégrer les informations photométriques récupérées sur des objets réels aux bâtiments virtuels créés dans le logiciel.

En utilisant ce logiciel pour reconstruire un ensemble de bâtiments à partir de données issues de fouilles de sites, l'étape suivante sera de proposer au grand public des hypothèses de reconstruction de bâtiments et des visites guidées à travers ces bâtiments.

En parallèle, nous comptons travailler avec l'action "Simulation interactive pour les systèmes de comportement complexe" du CPER, en ce qui concerne la simulation interactive du comportement des objets traités en fonction du temps, par exemple en tenant compte d'aspects physiques et mécaniques. Dans ce cadre, nous souhaitons compléter l'outil par un moteur de simulation physique pour permettre aux archéologues de tester des hypothèses d'évolution des bâtiments au cours du temps : érosion, incendie... Une étude sera démarrée à ce sujet au cours de l'année 2011 et ses résultats enrichiront le produit final autant que possible.

Des publications et une valorisation de ces travaux seront produits au fur et à mesure de leur avancement.

2.2. Besoins

Toutes les actions initialement prévues pour VISA restent d'actualité.

Personnel

Nous comptons demander :

- (au moins) un sujet de post-doctorat renouvelable pour synchroniser les différentes tâches et travailler sur les problématiques de fond
- des financements de master recherche pour travailler sur des sujets ponctuels
- un sujet de thèse sur les opérations de modélisation hiérarchiques 3D et de rejeu.

Ce personnel est nécessaire pour faire progresser VISA et aboutir au résultat voulu dans les temps impartis. Nous comptons utiliser l'intégralité du budget restant fléché en personnel.

Équipements

Outre l'achat de quelques postes de travail informatiques pour le personnel engagé, un budget prévisionnel concernant les équipements « lourds » envisagés est actuellement à l'étude, dans le cadre de la réalisation du prototype d'acquisition et de mesure sur site sur lequel travaille M. Khoudeir.

Missions

Il faut enfin compter sur un budget d'environ 10000 euros sur la période 2010-2013 relatif aux missions à l'étranger dans le cadre de fouilles archéologiques et de la campagne de récupération des mesures physiques des objets d'une part, dans le cadre de présentation des travaux en conférences et séminaires d'autre part.