



Stéphane Potier

Ecole d'Architecture de Marseille Luminy
stephane.potier@wanadoo.fr

Jean Louis Maltret

Ecole d'Architecture de Marseille Luminy
jlm@marseille.archi.fr

Jacques Zoller

Ecole d'Architecture de Marseille Luminy
jz@gamsau.archi.fr

Computer Graphics: Assistance for Archaeological Hypotheses

This paper is a contribution to the domain of computer tools for architectural and archeological restitution of ancient buildings. We describe an application of these tools to the modeling of the 14th century AD. Thermae of Constantin in Arles, south of France. It was a diploma project in School of Architecture of Marseille-Luminy, and took place in a context defined in the European ARELATE project. The general objective of this project is to emphasize the archeological and architectural heritage of the city of Arles; it aims, in particular, to equip the museum of ancient Arles with a computer tool enabling the storage and consultation of archaeological archives, the communication of information and exchange by specialized networks, and the creation of a virtual museum allowing a redescription of the monuments and a "virtual" visit of ancient Arles.

Our approach involves a multidisciplinary approach, calling on architecture, archeology and computer science. The archeologist's work is to collect information and interpret it; this is the starting point of the architect's work who, using these elements, suggests an architectural reconstruction. This synthesis contains the functioning analysis of the structure and building. The potential provided by the computer as a tool (in this case, the POV-Ray software) with access to several three-dimensional visualizations, according to hypotheses formulated by the architect and archeologists, necessitates the use of evolutive models which, thanks to the parametrization of dimensions of a building and its elements, can be adapted to all the changes desired by the architect.

The specific contribution of POV-Ray in architectural reconstruction of thermae finds its expression in four forms of this modeling program, which correspond to the objectives set by the architect in agreement with archeologists: (a) The parametrization of dimensions, which contributes significantly in simplifying the reintervention process of the architectural data base; (b) Hierarchy and links between variables, allowing "grouped" modifications of modeled elements in order to preserve the consistency of the architectural buildings morphology; (c) The levels of modeling (with or without facing, for example), which admit of the exploration of all structural and architectural trails (relationship form/function); and, (d) The "model-type," facilitating the setting up of hypotheses by simple scaling and transformation of these models (e.g., roofing models) on an already modelled structure.

The methodological validation of this modeling software's particular use in architectural formulation of hypotheses shows that the software is the principal graphical medium of discussion between architect and archaeologist, thus confirming the hypotheses formulated at the beginning of this project.

L'infographie : une aide à la formulation d'hypothèses archéologiques

L'article que nous proposons ici présente une étude sur les apports de l'outil informatique dans la restitution architecturale et archéologique d'un édifice antique : les Thermes de Constantin en Arles, monument daté du I^{er} siècle après J.C. Ce travail a constitué l'objet d'étude d'un Travail Personnel de Fin d'Etudes (TPFE) à l'Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy (EAML) et s'est déroulé dans un cadre de questionnement défini dans le projet européen ARELATE, qui a comme objectif général de valoriser le patrimoine archéologique et architectural de la ville d'Arles et de doter le musée de l'Arles antique d'un outil informatique permettant le stockage et la consultation d'archives archéologiques, la communication et l'échange d'informations par les réseaux spécialisés, la création d'un musée virtuel permettant une lecture des monuments et une visite "virtuelle" de l'Arles antique.

Notre approche implique un travail pluridisciplinaire rassemblant des compétences archéologiques, architecturales et informatiques. Le travail de collecte des informations et sa traduction par les archéologues sert de base à l'architecte qui, à partir de ces éléments, propose une restitution architecturale, travail de synthèse comprenant l'analyse des structures et du fonctionnement de l'édifice. La possibilité donnée par l'outil informatique (ici, le logiciel POV-Ray) de disposer de plusieurs visualisations tridimensionnelles dans le temps, en fonction d'hypothèses formulées par l'architecte et les archéologues, permet l'emploi de modèles évolutifs qui peuvent facilement s'adapter à toutes les transformations souhaitées par l'architecte.

L'apport spécifique de POV-Ray dans la restitution des thermes, comme outil de formulation d'hypothèses archéologiques, se traduit par quatre modes d'utilisation de ce modèleur, qui correspondent aux objectifs fixés par l'architecte en accord avec les archéologues: (a) Le paramétrage des dimensions, qui apporte une grande simplicité au processus de réintervention sur la base de données architecturale; (b) La hiérarchie et le liens entre variables, permettant des modifications "groupées" d'éléments modélisés pour maintenir la cohérence de la morphologie architecturale du bâtiment; (c) Les niveaux de modélisation (avec ou sans parement par exemple), qui autorisent l'exploration de toutes les pistes structurelles et architecturales (rapport forme/function); et (d) Les modèles-types, facilitant la mise en place d'hypothèses, par simple mise à l'échelle et transformation de modèles-types (de couverture par exemple) sur une structure déjà modélisée.

La validité méthodologique de cette utilisation particulière du logiciel POV-Ray dans la formulation d'hypothèses architecturales, se confirme en tant que support graphique principal de discussion entre architecte et archéologues, ce qui a permis d'attester les hypothèses formulées dans ce projet.

introduction

This paper is a contribution to the domain of computer tools for architectural and archaeological reconstruction of an ancient building. We describe an application of these tools to the modeling of the *Thermae of Constantin* in Arles, south of France, dating from the 14th century AD. It was a diploma project in School of Architecture of Marseille-Luminy, and took place in a context defined in the European ARELATE project. The general objective of this project is to valorize the archaeological and architectural heritage of the city of Arles; it aims in particular at equipping the museum of ancient Arles with a computer tool enabling the storage and consultation of archaeological archives, the communication of information and exchange by specialized networks, and the creation of a virtual museum allowing a redescription of the monuments and a "virtual" visit of antique Arles. This kind of architectural reconstruction poses a central problem today: the *Delphes Tholos* (restituted by the School of Architecture of Nancy) and the ancient *Lausanne* (by the Cantonal Art School of Architecture), for example, show the importance of architectural heritage, studied with the aid of computer graphics. Our approach implies a multidisciplinary work calling on architecture, archeology and computer science. The archeologist's work is to collect information and interpret it; this is the starting point of the architect's work who, using these elements, suggests an architectural reconstruction. This synthesis contains the functioning analysis of the structure and building.

Before studying the implications of the computer as a tool in the architectural reconstruction process, it is necessary to firstly analyse the medium through which this process will be applied. After an introduction to the computer science context used for the restitution, the main part of this paper is dedicated to the analysis of the archaeological context. The principles of archaeological analysis are explained, the synthesis of which constitutes the basis of architectural reconstruction. The principles governing this reconstruction are then discussed, using practical examples of the potential provided by the computer as a teaching and research medium. The elements are then in place to illustrate the mechanics governing the relationships between the architect, the archeologists, and

the computer. Finally, the study of the specific contribution of computer graphics (in this case, the *POV-Ray* software) as a tool for archaeological hypothesis formulation will permit us to establish how methodologies, implemented in modeling strategies, have an influence on the architectural reconstruction (and inversely).

architectural modeling

For the design of new buildings or for the reconstruction of ancient ones, architectural modeling needs easily usable modelers. The evolution of the model depends upon building regulations or on hypotheses for ancient buildings. The modeler must be highly interactive to permit easy tuning. This concerns forms and associations, but does not imply common sense interactivity with a peripheral device, allowing direct modification of the screen representation. The modification of architectural dimensions with their consequences on all parts of the model is certainly more important than the ability of modifying an element on screen. Parametric modelers, recently appeared in mechanical CAD, would permit a similar approach. Today, this approach is at sketch or rough-drawing level and not in production phase of execution plans, but even at this level it allows both rapid validation of reasonable hypotheses and coherent choice of dimensions to be used in a more powerful modeler. In the first stage of this work *POV-Ray* software has been utilized; this is both a modeler to describe a scene by means of a text, and a realistic rendering software using the ray tracing method.

characteristics of POV-Ray

The user of *POV-Ray*¹ can use a set of geometric primitives and volumetric operations to represent objects. Among these primitives are quadrics (2nd degree equations), quartics (4th degree equations), surfaces of revolution, extrusions, and more special forms such as blobs and height fields which are not very well adapted to architectural modeling (Figure 1). Basic geometric forms used in architecture are not very numerous except as design elements, because they are often constructed in place or in the factory. A modeler based upon these primitives (polyedric forms, cylinders, cones, spheres, torus) permits modeling of the major part of contemporary and ancient architectural production. For real situations, the basic elements are

introduction

L'article que nous proposons ici présente une étude sur les apports de l'outil informatique dans la restitution architecturale et archéologique d'un édifice antique : les Thermes de Constantin en Arles (Sud de la France), monument daté du IV^{ème} siècle après J.C. Ce travail a constitué l'objet d'étude d'un Travail Personnel de Fin d'Etudes (TPFE) à l'École d'Architecture de Marseille-Luminy (EAML) et s'est déroulé dans un cadre de questionnement défini dans le projet européen ARELATE, qui a comme objectif général de valoriser le patrimoine archéologique et architectural de la ville d'Arles, et de doter le musée de l'Arles antique d'un outil informatique permettant le stockage et la consultation d'archives archéologiques, la communication et l'échange d'informations par les réseaux spécialisés, la création d'un musée virtuel permettant une relecture des monuments et une visite "virtuelle" de l'Arles antique. Ce type de restitution constitue de nos jours un problème central : la Tholos de Delphes (restituée par l'École d'Architecture de Nancy), l'ancienne Lausanne (par l'École Cantonale d'Art de Lausanne),... montrent l'intérêt porté à cet aspect de l'étude du Patrimoine avec l'aide de l'infographie. Notre approche implique un travail pluridisciplinaire rassemblant des compétences archéologiques, architecturales et informatiques. Le travail de collecte des informations et sa traduction par les archéologues sert de base à l'architecte qui, à partir de ces éléments, propose une restitution architecturale, travail de synthèse comprenant l'analyse des structures et du fonctionnement de l'édifice.

Avant d'étudier les implications de l'utilisation de l'outil informatique dans le processus de restitution architecturale, il paraît nécessaire d'analyser, en premier lieu, le support sur lequel va s'exercer ce processus. Après la présentation du contexte informatique utilisé pour la restitution, la partie principale est consacrée à l'analyse du contexte archéologique et à l'étude de l'apport spécifique de l'infographie dans la restitution architecturale des Thermes de Constantin. Nous exposerons tout d'abord les principes d'analyse archéologique, synthèse sur laquelle s'appuie la restitution architecturale; nous étudierons ensuite les principes qui ont présidé à cette restitution, avec notamment des exemples pratiques de l'apport de l'outil

informatique en tant que support de recherche et de pédagogie. Nous aurons alors en notre possession les éléments nécessaires pour illustrer les mécanismes qui régissent les rapports entre l'architecte, l'archéologue et l'outil informatique. Enfin, l'étude de l'apport spécifique de l'infographie (ici, le logiciel POV-Ray) dans la restitution des thermes, comme outil de formulation d'hypothèses archéologiques, nous permettra de déterminer comment les méthodologies mises en oeuvre dans les stratégies de modélisation influent sur la restitution architecturale (et inversement), ainsi que sur les modes de communications et d'interactions des compétences entre acteurs du projet.

modélisation architecturale

La modélisation architecturale, que soit dans le domaine de la conception de bâtiments futurs ou dans le cadre de la restitution des ouvrages anciens, nécessite l'emploi de modeleurs souples permettant aux modèles d'évoluer en fonction des options prises sur le bâtiment en cours de conception ou de validation d'hypothèse dans le cas de reconstitution. Le modeleur doit être hautement interactif afin de permettre une grande souplesse dans la mise au point de modèles. Cette interactivité porte sur la forme et sur les assemblages, elle n'implique pas obligatoirement, comme nous allons le voir dans la suite de cet article, un environnement interactif au sens admis aujourd'hui, c'est à dire qui permet d'agir à l'aide d'un périphérique directement sur une représentation du modèle à l'écran. La modification des dimensions des éléments architecturaux avec propagation des conséquences de ces modifications aux éléments interdépendants est certainement plus importante que de pouvoir déplacer un élément de façon interactive sans que ce déplacement soit pris en compte dans le reste du modèle. L'apparition de modeleur paramétriques dans le domaine de la CAO mécanique devrait permettre à terme d'utiliser ce genre d'approche dans le domaine architectural. L'utilisation d'un système paramétré aujourd'hui dont les données sont décrites sous forme textuelle permet déjà de mettre en place des modèles évolutifs et sont tout à fait adaptés à l'étude morphologique générale des bâtiments. Cette approche relève plus de l'esquisse ou du croquis que de la phase de production de plan d'exécution mais à ce niveau elle permet de dégager



Figure 1. Examples of structure obtained by extrusion and rotation with POV-Ray. [Exemples d'objets obtenus par extrusion et rotation avec POV-Ray.]

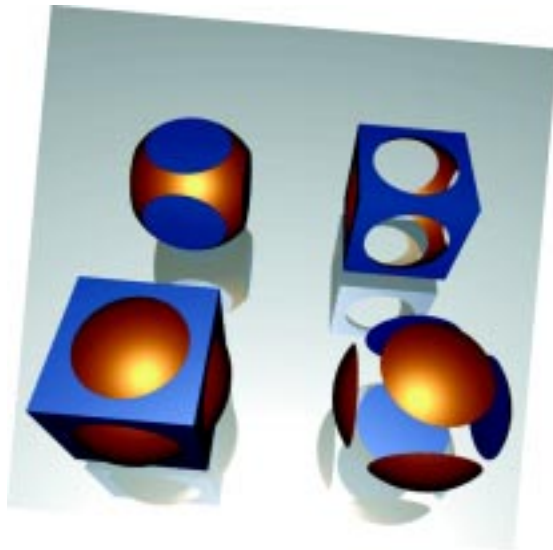


Figure 2. Examples of boolean operations with POV-Ray. [Exemples d'opérations booléennes avec POV-Ray.]

modified by holes and cuts, operations which can also be executed by previous primitives. From computer and mathematical points of view, boolean operations are the correct way to realize these actions. In most cases four operations are used: set complement, union, intersection, and difference. Every element obtained by these operations can later be combined with others, possibly modified by transformations or new parameters (Figure 2). Description of an element is thus represented by a tree of successive operations, modified by geometric transformations. This description has the advantage of being concise and can be evaluated at every stage if some dimensions are changed. Text description is a simple way to describe these trees and allows an easy modeling, after convenient decomposition of the objects in

elementary forms and operations. Any part of a CSG tree corresponds to a subset of the object: in POV it is possible to extract any sub-tree, name it, and re-use it after modification of parameters or application of geometric transformations. This capability allows multiple usages of generic objects used in many parts of a scene with some variations.

archaeological context

presentation of the building

The building, such that one can observe at present, is located in the north of the city of Arles, near the river of Rhône. What remains of the edifice are walls up to 17 m high; the north part is the well-preserved one (Figure 3). One can distinguish several well delimited rooms in the zone open to the public. To the south, one room of the *thermae* is occupied by a dwelling. Further to the south are other ancient fragments situated in cellars and in elevations of these dwelling. The graphic documents forming the basis of this study are the plans provided by Arles Museum, drawn by the archaeologists J. Bremond and M. Heijmans (Figure 4), and two perpendicular cross-sections of the *caldarium* by an historic monuments architect. The *Thermae* of Constantin were largely excavated during the last century, leading to interventions in the site. In viewing documents from the beginning of the century before restoration, it was noted that some large modifications were made, which eradicated many clues. Therefore, the ancient traces and clues must be verified by constant comparison with infographical layout and plotting.

principles of archaeological analysis

The aim of this analysis is to determine which elements guided the original conception and construction *Thermae* of Constantin: the architectural influences, constraints, and technical and architectural experience of the project manager and the period. These elements are:

- the history of Arelate Roman city, of which the 14th century reveals a program of civil monumental constructions;
- the terminology of thermal baths, which classifies this building as "*thermae*" instead of "*balneae*";
- the terminology of thermal rooms (*caldarium*)



Figure 3. View from northwest of the Thermae of Constantin. [Vue d'ensemble sur les Thermes de Constantin depuis le Nord-Ouest.]

rapidement les hypothèses acceptables et le dimensionnement à prendre en compte dans un modéleur plus puissant, en terme d'objets manipulables, mais plus limité en terme d'inter-relation entre les objets. Dans ce projet nous avons utilisé le logiciel POV-Ray qui est à la fois un modéleur permettant de décrire une scène par l'intermédiaire d'un langage de description et un logiciel de rendu réaliste par la méthode du lancer de rayon.

caractéristiques de POV-Ray

L'utilisateur de POV-Ray peut utiliser un ensemble de primitives géométriques et d'opérations volumiques pour représenter les objets. Ces primitives comprennent les quadriques (équations du second degré), les quartiques (équations du quatrième degré), les surfaces de révolutions les extrusions, ainsi que des formes plus spécifiques telles que les Blobs et les champs d'altitudes qui ne sont pas adaptées à la modélisation en architecture (Figure 1). Les formes géométriques utilisées en architecture, en dehors de certains éléments de décor, sont dans la plupart des cas peu nombreuses du fait même de la nécessité de les réaliser sur chantier ou en usine des pré-fabrication. Un modéleur limité aux primitives de base (plans, parallélépipèdes, cylindres, cônes, sphères et tores) ainsi qu'au transformations affines de ces formes, permet de modéliser la plus grande partie de la production architecturale passée et contemporaine pour l'épanelage. Dans la réalité ces formes de base sont assemblées et retravaillées par percement, découpages à l'aide d'outils dont la géométrie relève des formes précédemment décrites. Du point de vue informatique et

mathématique les opérations dites booléennes permettent de traduire ces actions au niveau du modèle. On utilise en général dans les modéleurs de type CSG, les 4 opérations booléennes complément, union, intersection, différence. L'union correspond à l'assemblage de deux objets pour en faire une seule entité, l'intersection consiste à garder la partie commune a deux ou plusieurs objets, elle traduit les action de carottage ou de filière dans le monde réel, la différence enfin consiste à garder la partie d'un volume qui n'appartient pas a un ou plusieurs autres, elle permet de traduire toutes les opérations de percement et découpage. Tout élément obtenu par l'application d'une de ces opérations sur les formes de base peut être combiné à d'autres éléments à l'aide de ces mêmes opérations (Figure 2). La description d'un élément est représenté par l'arbre des opérations successives appliquées aux primitives de bases, affectées de dimensions et modifiées éventuellement par des transformations. Cette description a l'avantage d'être économique et de pouvoir être réévaluée à tout moment après avoir changé la valeur d'une ou plusieurs dimension pour obtenir une nouvelle version de l'objet correspondant. Le texte est une manière simple de décrire ces arbres et permet aussi de les modifier facilement, a condition d'avoir réalisé une décomposition pertinente des objets à modéliser en primitives élémentaire et opérations booléennes à leur appliquer. Toute partie d'un arbre CSG correspond à un sous ensemble d'un objet. En POV il est possible d'extraire un sous arbre, de lui attribuer un nom et de le réutiliser en modifiant ses paramètres ou par application de nouvelles transformations géométrique. Cette possibilité permet

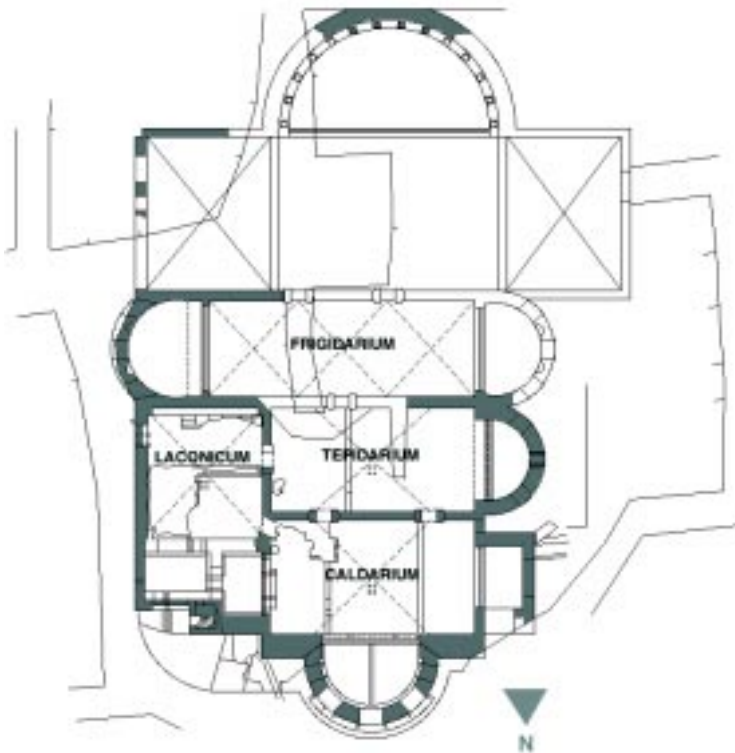


Figure 4. Plan of the current state of the Thermae of Constantin, showing the antique traces in black. [Plan de l'état actuel des Thermes de Constantin (les parties hachurées en noir représentent les restes antiques).]

- hot room, tepidarium - tepid room, frigidarium - cold room, ...), of which the etymology of room-types can be described by the strict progress of an ancient bather, and therefore the function of each room of the building;

- the general evolution of Italic thermal baths, as an examination of the thermal edifices in western provinces from the 1st century to the beginning of the 3rd century, confirming the adaptability of the thermal edifice to many parameters (topology, town planning, etc.);
- and finally, the description of the Thermae of Constantin, in comparison with other thermal baths of the "Narbonnaise" area (the ancient south of France), which allows the specification of the morphology of each room, the dating of the edifice, and the constructive antecedents of the site.

Many of these elements in the general context of the Thermae of Constantin remain hypothetical, but they obey a certain coherence; it is this consistency which has guided in the architectural restitution, as a "schedule of conditions" given from the past.

principles of architectural reconstruction

During architectural reconstruction, care must be taken that only hypothesis are formulated and not unjustified assertions. The aim is not to restore precisely an edifice as it was originally; this work is above all useful for new discussions on different restitutions, reinterpretation of excavations, and finding other directions of research, thanks to the three-dimensional approach. Under these conditions, the part of archeologists is not to give an absolute guarantee to all the propositions, but to cast a "critical" eye, essential for a productive exchange. The architectural reconstruction relies on an archaeological synthesis, giving us a basis for formulating, and validating (or not) a hypothesis, whilst respecting the architectural coherence. In the precise case of the Thermae of Constantin, the good state of preservation of a large part of the caldarium allows us the use of a structural and morphological attested basis, which constitutes an "objective" starting point for the restitution relating to general themes (constructive systems, water circulation, roofing, etc.) and a room-by-room study. The situation is comparable to a jigsaw in which some parts are already

d'utiliser des objets de bibliothèques à plusieurs endroits de la scènes avec des variations de forme.

contexte archéologique

présentation du bâtiment

Le bâtiment, tel que l'on peut l'observer actuellement, est situé au Nord de la cité intramuros, au bord du Rhône. Les restes antiques sont encore visibles en élévation (jusqu'à 17 mètres !), la partie Nord étant la mieux conservée (Figure 3). On distingue plusieurs pièces encore bien délimitées dans la zone accessible au public, l'immeuble d'habitation bordant cette zone au Sud parasitant une dernière pièce. Encore plus au Sud se trouvent encore d'autres fragments situés dans des caves et en élévation dans des habitations. Les documents graphiques qui ont servi de base à l'étude des thermes sont d'une part le plan fourni par l'IRPA, dessiné à partir de celui de Mrs. Bremond et Heijmans (Figure 4), d'autre part deux coupes perpendiculaires sur le caldarium réalisées par un Architecte des Monuments Historiques. Les Thermes de Constantin ont déjà été abondamment fouillés, ce travail de restitution donnant lieu à des interventions sur le site au cours du dernier siècle. Au vu de documents du début du siècle (avant restauration), on s'aperçoit que des modifications importantes ont été apportées aux vestiges, gommant du même coup de nombreux indices. Il a donc fallu, lors de la restitution architecturale, vérifier au mieux les traces présentes sur le site (notamment par des comparaisons de tracé infographique et de relevé).

principes d'analyse archéologique

Le but de cette analyse est de permettre de déterminer les éléments qui ont prévalu lors de la conception des Thermes de Constantin. A quelles influences architecturales le maître d'oeuvre était soumis, avec quelles contraintes il a du composer, quels acquis techniques et architecturaux il avait à sa disposition, en partant de principes généraux pour arriver au cas particulier que constituent les Thermes de Constantin. Ces éléments sont :

- *L'historique de la cité romaine d'Arles*, dont le IV^{ème} siècle témoigne de la mise en place d'un programme de constructions monumentales civiles.
- *La terminologie des établissements de bain*,

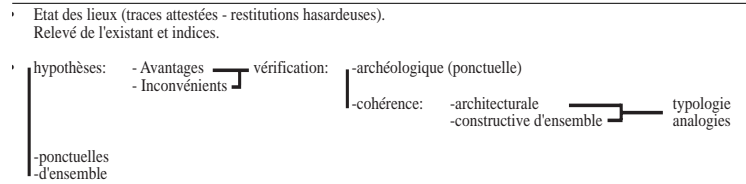


Figure 5. General principles of architectural reconstruction.
[Principe général de la restitution architecturale.]



Figure 6. Traces of the piles-circulatin ground system in the caldarium of the Thermae of Constantin. [Traces du système pilettes-sol de circulation dans le caldarium des Thermes de Constantin.]

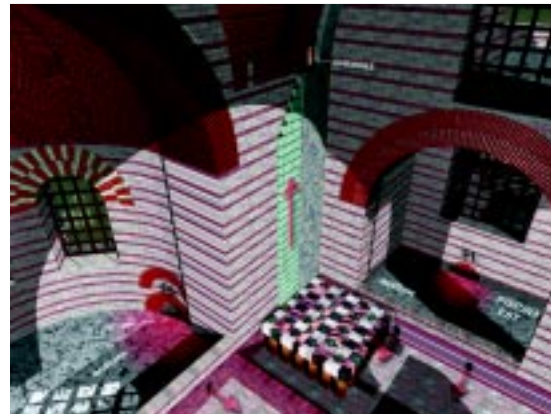


Figure 7. Partial reconstruction of the whole hypocauste system of the Thermae of Constantin, except the heating rooms. The red arrows symbolize the course of the smoke, from fireplaces to the flues. [Restitution partielle de l'ensemble du système de l'hypocauste des Thermes de Constantin (excepté la chambre de chauffe). Les flèches rouges symbolisent le trajet des fumées depuis les foyers jusqu'aux conduits de cheminée.]



Figure 8. The visible traces on the laconicum south wall of the Thermae of Constantin. [Les traces visibles sur la paroi Sud du laconicum des Thermes de Constantin.]

in place ! Thus, one can establish general principles (proper to our building) from particular ones, with a methodology similar to the process of a "usual" architectural project (Figure 5). This is the point where computer graphics begin their use as a tool for architectural hypothesis formulation, with the dual mission of research and communication, acting as a real graphic medium between architect and archeologists. Using this technique, the situation of heating in the Thermae is significant at the teaching and visual level of image synthesis. The heating by hypocauste in the Thermae of Constantin is one of the best-preserved of Roman Gaul. This is under-floor heating where smokes is sucked by tubulures in the walls. Many elements of this device are still in evidence, the fireplace, heating room, etc. (Figure 6). In addition to assisting the hypothesis formulation, image synthesis also becomes a teaching tool in reconstructing the heating course in the building (Figure 7).

Another practical use of computer graphics is the archaeological hypothesis formulation. In the room-by-room restitution of Thermae of Constantin, the frigidarium east apse is typical of the potential provided by a three-dimensional visualization of a hypothesis, very difficult to formalize in two dimensions. Originally, some incoherent traces on south wall of laconicum (dry steamroom, Figure 8) made any roofing impossible for this room. It is thanks to modeling that the solution appeared (Figures 9,10.1): the laconicum south wall had to be doubled by a "filling" wall (Figure 10.2), of which an elevation part (not taken into account before) can be seen, making the roofing of this apse by a half-cupola possible (Figures 10.3-10.4). The image, more than being a discussion medium, becomes a real part of the reconstruction process (Figures 11-12), and an essential communication medium between architect and archaeologists.

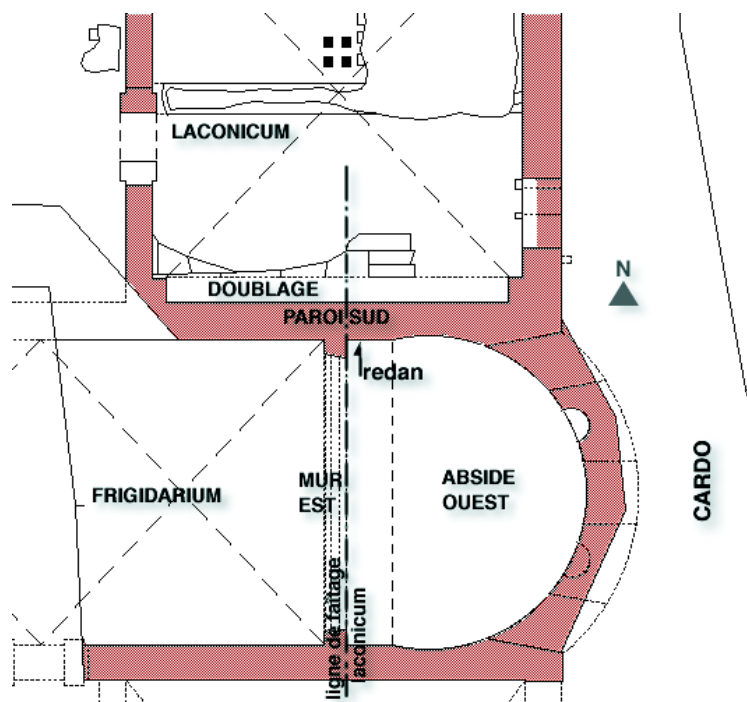


Figure 9. Plan of the current state of the frigidarium east apse of the Thermae of Constantin. [Plan de l'état actuel de l'abside Est du frigidarium des Thermes de Constantin.]

computer graphics as a tool

Thanks to the software currently available, the architect, working not only with plans, cross-sections or elevations, has access to a three-dimensional view of a building. This approach allows him to develop his capacity for analysis, understanding and conception. The validation of architectural hypotheses, restricted to a graphic plan/cross-section/elevation representation, is much less con-

qui classe ce bâtiment dans les "thermae", par rapport aux "balneae".

- *La terminologie des salles des thermes* proprement dites (caldarium - salle chaude -, tepidarium - salle tiède -, frigidarium - salle froide -, ...), dont l'étymologie des pièces-types peut être décrite par le cheminement très strict de l'utilisateur d'alors, et qui nous permet de restituer la fonction de chaque pièce de ce bâtiment grâce à ce principe de circulation.
- *L'évolution générale des thermes dans la région italique*, examen des édifices thermaux construits dans les provinces occidentales, de la fin du I^{er} siècle au début du III^{ème} siècle, confirmant la souplesse d'adaptation de l'édifice thermal en fonction de multiples paramètres (topologie, urbanisme, ...).
- Enfin, *la description des Thermes de Constantin et du site*, en les comparant aux autres bâtiments de bains de la région de Narbonnaise, permet de préciser la morphologie de chaque espace, de dater l'édifice, de dégager les antécédents constructifs du site, et d'émettre une classification générale par rapport à l'analyse terminologique.
- Beaucoup de ces éléments restent bien sûr hypothétiques, mais obéissent à une certaine cohérence d'ensemble, qui sert de "fil d'Ariane" dans ce "cahier des charges" du passé comportant état des lieux, références à suivre, ... et qui nous a guidé lors de la restitution architecturale.

principes de restitution architecturale

Il faut tenir compte, tout au long de la restitution architecturale, du fait que l'on ne formule que des hypothèses. Le but n'est pas de restituer exactement un bâtiment tel qu'il était à son origine ; ce travail sert surtout de base à des discussions sur les nouvelles restitutions possibles, l'occasion de réinterpréter les fouilles, lancer de nouvelles pistes grâce à l'approche en trois dimensions. Dans ces conditions, le rôle des archéologues n'a pas été d'apporter une caution absolue à toutes les propositions, mais d'avoir un regard "critique", essentiel pour des échanges de compétences productifs, car seul l'architecte engage sa responsabilité dans ce processus. La restitution architecturale est conduite en s'appuyant sur la

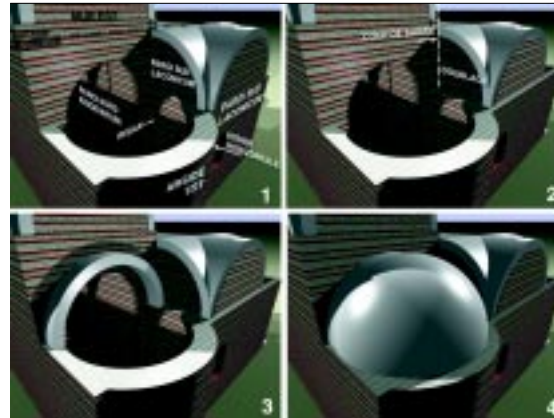


Figure 10. Reconstruction hypothesis of the frigidarium apse roofing. [Hypothèse de restitution du couvrement de l'abside Est du frigidarium.]

synthèse archéologique, qui permet de disposer d'éléments sur lesquels s'appuyer quand il est question de formuler, valider (ou invalider) une hypothèse, tout en respectant un souci constant de cohérence architecturale. Dans le cas précis des thermes de Constantin, l'état de conservation d'une grande partie du caldarium nous fournit une base structurelle et morphologique attestée qui constitue un point de départ "objectif" pour la restitution architecturale, autant pour les thèmes transversaux (systèmes constructifs, circulation de l'eau, couvrements et couvertures, ...) que pour l'étude pièce par pièce.

C'est comme si nous étions en présence d'un puzzle, dont toute une partie est déjà en place ! Nous pouvons ainsi, à partir des restes du caldarium, établir des principes généraux (propres au bâtiment) à partir d'éléments particuliers attestés, tout en respectant une méthodologie analogue au processus d'un projet architectural "traditionnel" (Figure 5). C'est à partir d'ici qu'entre en jeu l'infographie comme outil de formulation d'hypothèses architecturales, avec une double mission de recherche et de communication, véritable support graphique de la formulation d'hypothèses et de communication entre architecte et archéologues. Ainsi, dans la restitution par thèmes transversaux, le cas du système de chauffage des thermes est significatif du rôle pédagogique et de visualisation de l'image de synthèse : En effet, le système de chauffage par hypocauste (chauffage par le sol dont les fumées sont évacuées par des



Figure 11. Perspective from east. [Vue perspective depuis l'Est.]

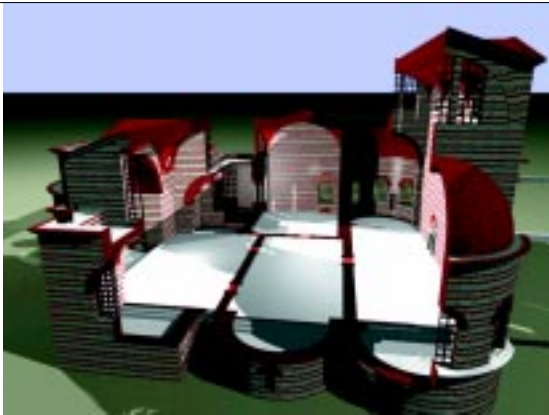


Figure 12. Inner cross-section of the complete model. [Coupe intérieure sur l'ensemble.]

```
//COUPOLE
#declare epsilon = 0.01
#declare rayonCoupole = 5.02
#declare epaisseurCoupole = 0.75
#declare rayonExtCoupole = rayonCoupole + epaisseurCoupole

//ABSIDE
//pleins
#declare hAbside = 8.95
#declare debordAbside = 2.44
#declare epaisseurAbside = 1.6
#declare rayonExtAbside = rayonCoupole + epaisseurAbside

//ARC DEVANT COUPOLE
#declare epaisseurArcAbside = 2.37
#declare redanCoupole = 0.17
#declare rayonArc = rayonCoupole - redanCoupole
```

Listing 1. Part of the variable declaration file of the caldarium north apse of the *Thermae of Constantin*.

trollable than three-dimensional visualizations using parameters based on geometry. This potential provided by the computer, with access to several three-dimensional visualizations at one time according to hypotheses formulated by architect and archaeologists, necessitates the use of evolutive models which, due to the parametrization of the dimensions of a building and its elements, can be adapted to all the changes wished for the architect. This essential aspect of parametrization made us choose the POV-Ray software for the architectural hypotheses formulation, as it is one of the few which offers this possibility. The specific contribution of POV-Ray in the architectural restitution of the *Thermae of Constantin*, provides four able forms of this modeler, corresponding to the objectives set by the architect in agreement with the archaeologists: parametrization of dimensions, hierarchy and links between variables, levels of modeling, models and hypotheses.

parametrization of dimensions

The modeling of the building with POV-Ray is divided into three distinct elements:

- A main file including the attributes of light and texture, a statement of the objects to be represented, and the observer's position and his viewpoint.
- A file of the variable declarations corresponding to the numeric dimensions of the building's elements (attributes of height, length, width, angle) (see Listing 1).
- The modeling files themselves describing objects' coordinates and their transformations, which are, in fact, the variables described above (see Listing 2).

This parametrization of the database is performed by the command `#declare`; as such, variable setting of the numeric data is possible. The declarations, like most of language instructions, can appear anywhere in a file, and allow direct relationship between several variables. These distinctions, allowing parametrization of dimensions, has a distinct advantage in the ability to check dimensions, e.g., following a first numeric model built from the documents produced by archaeologists, a dimensions plotting made on the spot has shown some distortions compared with the exist-

tubulaires dans les parois) des thermes de Constantin est un des mieux conservé de la Gaule Romaine, beaucoup d'éléments constitutifs de ce dispositif sont encore en place (foyers, chambres de chauffe,...) (Figure 6).

En plus d'une aide à la formalisation des hypothèses de fonctionnement, l'image de synthèse devient un outil pédagogique pour reconstituer le trajet de la chaleur dans le bâtiment (Figure 7). Une autre utilisation pratique de l'infographie se retrouve dans la formulation d'hypothèses archéologiques. Dans la restitution pièce par pièce des Thermes de Constantin, où sont étudiés précisément les parties constituantes d'un espace donné, le cas de l'abside Est du frigidarium est caractéristique de l'apport de la visualisation tridimensionnelle pour une hypothèse très difficilement formalisable en deux dimensions: Au départ, des traces incohérentes sur la paroi Sud du laconicum (étuve sèche) (Figure 8) rendaient toute hypothèse de couverture impossible. C'est en modélisant l'état des lieux que la solution est apparue (Figure 9-10.1) : cette paroi Sud du laconicum devait en fait être doublée par un mur de remplissage (Figure 10.2). Une petite élévation encore visible sur le terrain mais non prise en compte, a permis d'émettre l'hypothèse du couvrement de cette abside par une voûte en cul-de-four (Figure 10.3-10.4). L'image, plus qu'un support de discussion, est alors devenue partie intégrante du processus de restitution (Figure 11-12), média de communication indispensable entre architecte et archéologues.

L'infographie comme outil

Grâce aux logiciels actuels, l'architecte ne travaille plus seulement en coupe et en élévation, il dispose de l'accès à une vision tridimensionnelle du bâtiment. Cette approche lui permet d'amplifier sa capacité à analyser, comprendre et concevoir. La validation d'hypothèses architecturales, limitée à une représentation plan-coupe-élévation, est bien moins maîtrisable qu'avec des visualisations en trois dimensions paramétrables (surtout en termes de géométrie et d'accrochages entre structures). Cette possibilité donnée par l'outil informatique de disposer de plusieurs visualisations tridimensionnelles évoluant dans le temps, en fonction d'hypothèses formulées par l'architecte et les archéologues,



Figure 13. Arch elements of the original plan, modeled in an "include" file. [Les éléments (au premier plan) modélisés dans un fichier "Include," ici celui concernant les arcs.]

```
#include "dimensio.inc"

//====Coupole Caldarium====

#declare coupoles = intersection {
//====abside====
  difference {
    sphere {<0,0,0>, rayonExtCoupole}
    sphere {<0,0,0>, rayonCoupole}
  }
  box {<-rayonExtCoupole,0, -rayonExtCoupole>, <rayonExtCoupole,
rayonExtCoupole, 0>}
}
//====fondabside====
#declare fondAbs =
  difference {
    intersection {
      difference {
        cylinder {<0, -SolBase, 0> <0, debodAbside, 0>,
rayonExtAbside }
        cylinder {<0, -SolBase-epsilon, 0>,
<0, debodAbside+epsilon, 0>, rayonCoupole}
      }
    box {<-rayonExtAbside, -SolBase-epsilon, -rayonExtAbside>,
<rayonExtAbside, debodAbsideepsilon, 0> }
  }
}
object {fenetre}
object {fenetre rotate <0, aFenetreAbside, 0>}
object {fenetre rotate <0, -aFenetreAbside, 0>}
object {foyerAbs rotate <0, aFoyerAbs, 0>}
object {foyerAbs rotate <0, -aFoyerAbs, 0>}
}
```

Listing 2. Part of the model file of the caldarium north apse of the *Thermae of Constantin*.

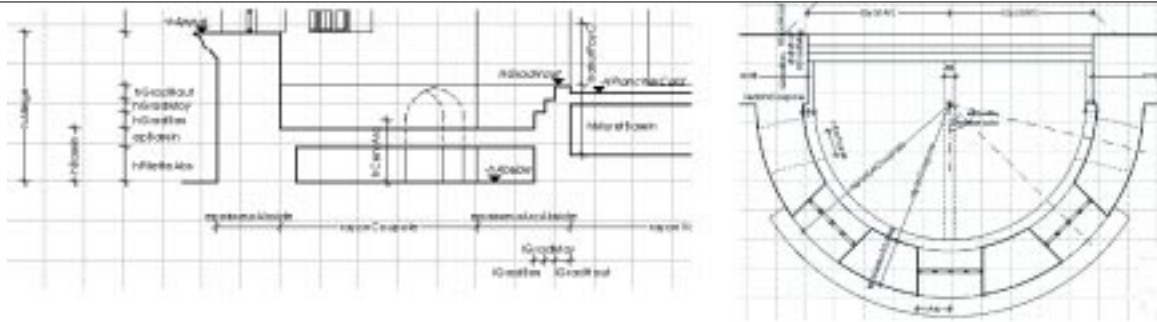


Figure 14. Data variables of the caldarium north apse: plan, north-south cross-section. [Exemple de la mise en variables des données dans l'abside Nord du caldarium: plan, coupe Nord-Sud.]



Figure 15. The junction between the roofing and flue apertures in the north-west angle of the caldarium: current state. [La jonction entre couverture et ouverture de cheminée dans l'angle Nord-Ouest du caldarium: état actuel.]

ing plans. Due to the partition of the modeling files and of the parametrization's variable one, the data modification can be done by simple numeric insertion in a single operation, without modification of other files.

hierarchy and links between variables

This notion of parametrization is coupled with the links between variables, these being used to define several objects at once. The hierarchical organization of these relations is possible with POV-Ray specific commands, such as inclusion (`#include`) allowing the hierarchical organization of data inside a file. This inclusion principle allows a concrete division between building structures, e.g. caldarium, frigidarium, tepidarium, etc, and architectonic elements e.g. upper cornices, lower cornices, joineries, roofing, etc. (Figure 13). The links between the variables constitute an essential element for the modeling: thus, the radius of North apse of caldarium `rayonCoupole` is the same as the radius of the arch's in front of this apse, decreased from the "redan" (Figure 14): $\rightarrow \text{rayonArc} = \text{rayonCoupole} - \text{redanCoupole}$ (Figures 15-16). The variable `rayonCoupole` is therefore used for the definition of these two elements as for the apse's rear, but this variable also is used later to describe other parts of building as integral part of the coordinates in relation to origin. For instance, the x coordinate of the East Piscina is given by the variable `rayonCoupole` added to the one of the north-east wall's length. This principle allows the propagation of modifications within the model. For example, the modification of the half-cupola's radius (by simple numeric insertion) leads to the arch

nécessite l'emploi de modèles évolutifs. Ceux-ci, grâce au paramétrage des dimensions d'un bâtiment et de ses éléments, peuvent s'adapter à toutes les transformations souhaitées par l'architecte avec facilité et rapidité. C'est cet aspect essentiel du paramétrage qui nous a fait choisir POV-Ray pour la formulation d'hypothèses architecturales, car il est l'un des rares logiciels disposant de cette possibilité à ce jour (Figure 13). L'apport spécifique de POV-Ray dans la restitution des Thermes, comme outil de formulation d'hypothèses archéologiques, se traduit par quatre modes d'utilisation de ce modèleur, qui correspondent aux objectifs fixés par l'architecte en accord avec les archéologues : Le paramétrage des dimensions, les hiérarchies et liens entre variables, les niveaux de modélisation, les modèles-types.

le paramétrage des dimensions

La modélisation de l'édifice sur POV-RAY est réalisée par la séparation de trois éléments distincts:

- Un fichier principal comportant les attributs de lumières, de texture, de déclaration des objets à représenter, du positionnement de l'observateur et du point de vue.
- Un fichier de déclaration des variables correspondant aux dimensions numériques des éléments de l'édifice (attributs de hauteur, longueur, largeur, angles) (Figure 14).
- Les fichiers de modélisation proprement dit, dans lesquels les variables déclarées ci-dessus décrivent les objets et leurs transformations (Figure 15).

Ce paramétrage de la base de données s'effectue grâce à la commande *#declare*, qui rend possible la mise en variable des données numériques. Les déclarations, comme la plupart des directives de langage, peuvent apparaître n'importe où dans un fichier, permettant de mettre en relation directe plusieurs variables déclarées précédemment. Ces distinctions qui permettent le paramétrage des distances trouvent un de leurs intérêts dans la vérification des cotations. Par exemple, suite à un premier modèle numérique constitué sur la base des documents fournis par les archéologues, un relevé des dimensions réalisé sur place a révélé des distorsions avec les plans existants. Grâce à la séparation des fichiers de modélisation et de celui des variables paramétrées,

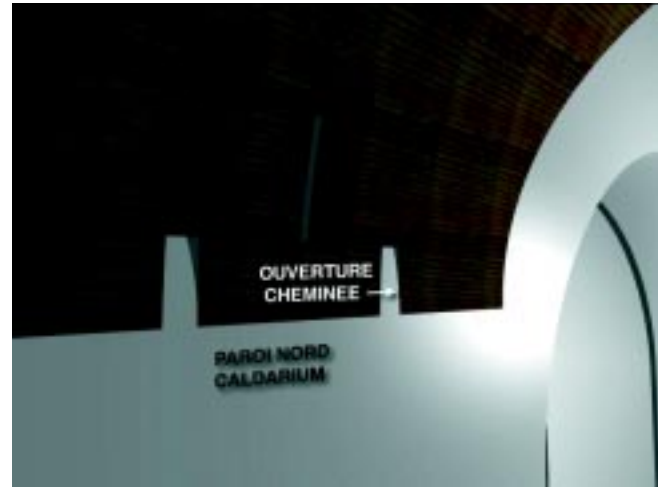


Figure 16. The junction between the roofing and flue apertures in the north-west angle of the caldarium: restoration using computer graphics. [La jonction entre couverture et ouverture de cheminée dans l'angle Nord-Ouest du caldarium: restitution infographique.]

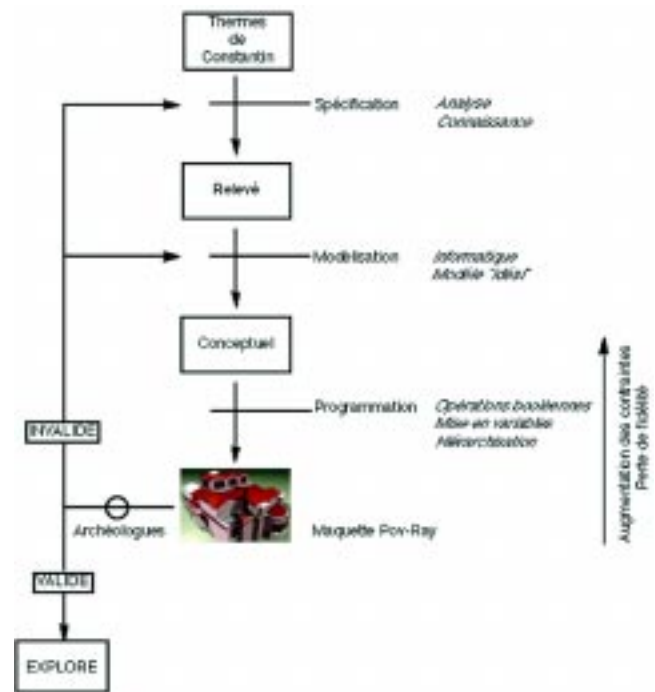


Figure 17. The architectural reconstruction process of the Thermes of Constantin. [Schéma résumant le protocole de restitution architecturale des Thermes de Constantin.]

cupola then to the apse's rear, while respecting the structural and morphological integrity of the whole *thermae*. However, it is necessary to organize into a hierarchy only compatible elements with each other: two very identical elements from morphological and dimensional standpoint, but independent (like the half-cupolas of *caldarium* and *tepidarium*), must correspond to independent variables in that precise case. The data modification is not restricted by the software: all the operations are reversible, following the example of the boolean operations. This principle of re-intervention is conditioned by the arborescent structure of POV-Ray modeling, described by textual form, modifiable by nature. So, with two sets of plans (numerical and with variables), the user can proceed through modifications if there is a plotting error, or for refining an archaeological hypothesis already modeled.

levels of modeling

A primary model of the "crude" structure (without facing) of *Thermae* allows a primary check of the structural hypothesis. The use of parameters and the relations between variables of the "crude" structure, used to model the inner facing, allows a secondary level of models to refine previous hypotheses. The parametrization of dimensions then allows switching from "crude" to facing structure, which gives more flexibility in hypotheses validation. For instance, in the first level of models, one can also verify the presence or absence of *tubulis* (flues hanging on the heated room walls) by the traces of bronze tenons which served as support. These were partial and scattered in the site. The walls placed further back make the presence of *tubulis* on the walls highly probable, as thus show the cohesion of facing in relation to the basic structure. The restoration of the *caldarium*'s vault has shown that the base trace of the west vault does not correspond to the image created with POV-RAY, especially for the insertion depth of the drain pipes. This archaeological reconstruction can therefore be considered as erroneous because of the false vault's curvature, proved by the differences of insertion depth of the drain pipes (Figures 17-18). This example occurs at the first level of modeling. At the second level of modeling, the junction of the *tubulis* with the drain pipes located in the vault base of the *caldarium* north wall poses a problem which

is solved with the attachment of the facing thickness or of the interior coating: the necessity a regular appearance of the *caldarium* arches curvatures induces the position of the junction between *tubulis* and their evacuations. The possibility of several three-dimensional views of this junction allows a fast validation of the correct hypotheses.

The possibility of a distinction between "crude" and "covered" structures in the phase of modeling is straightforward with parametrization of dimensions, and allows the exploration of all the structural and architectural trails (relations between form and function) on the one hand, and on the other hand to use of data of a "finished" building exploitable during the transition to a more powerful modeler.

models and hypotheses

The preparation of "typical models" using parameters such as roofing, facilitates the setting up of hypotheses by simple scaling and transformation of an existing model. The use of models is also very useful to conceive a satisfactory lighting principle for the different rooms of *Thermae*. The opening traces, only visible in the *caldarium* and the *laconicum*, allow the creation of an open model proper to the *Thermae* of Constantin. For the realization of the "typical models", the "plotting" of existing elements, compared to other building models, allows the formulation of new "dimensional" archaeological hypotheses.

methodological validation

- The main constraint in computer modeling is the regularity of the geometrical shapes inherent in the model. This regularity is often in contradiction with the site plotting, which supposes many geometrical exceptions. In the case of POV-Ray, the use of a model with regular primitives, which is the only approach usable for a building such as the *Thermae* of Constantin, has no consequences for hypotheses verification with archaeologists in relation to the reconstruction scale.
- The complete model files do not constitute an exploitable database for a site plotting, but are an essential tool for archaeological hypotheses formulation at the time of architec-

la modification des données s'est faite par une simple mise à jour des variables (sans toucher aux fichiers des modèles géométriques). Cette facilité pourra être utilisée par n'importe quel utilisateur qui pourra par la suite compléter et modifier les données avec la même facilité grâce au paramétrage des dimensions. Rappelons en effet que les fouilles actuelles ne sont pas complètes et que toutes les traces ne sont pas révélées.

les hiérarchies et liens entre variables

Cette notion de paramétrage est couplée à celle des relations entre les variables, communes à plusieurs objets. La hiérarchisation de ces relations est rendue possible par des commandes spécifiques à POV-Ray, tels que l'inclusion (`#include`) permettant la hiérarchisation des données à l'intérieur d'un fichier. Ce principe d'inclusion permet de réaliser une séparation concrète entre corps de bâtiments (caldarium, tepidarium, frigidarium, ...), éléments architectoniques distincts (corniches supérieures, corniches inférieures, menuiseries, couvertures, ...), (Figure 16). Les liens entre les variables constituent un élément essentiel de la modélisation : ainsi, comme on peut le voir sur la Figure 17, le rayon de l'abside Nord du caldarium *rayonCoupole* est le même que celui de l'arc devant cette abside diminué du redan, ce qui donne : $\rightarrow \text{rayonArc} = \text{rayonCoupole} - \text{redanCoupole}$ (Figure 14-15).

La variable *rayonCoupole* est donc utilisée pour la définition de ces deux éléments ainsi que pour le fond de l'abside, mais on la retrouve par la suite dans la description d'autres parties du bâtiment comme partie intégrante des coordonnées par rapport à l'origine (par exemple, la position en x de la piscine). Est est déterminée par la variable *rayonCoupole* et celle de la longueur du mur Nord-est). Ce principe permet donc la propagation des modifications au sein du modèle. Par exemple, la modification du rayon de l'abside entraîne celle de l'arc puis celle du fond de l'abside, ... tout en respectant l'intégrité structurelle et morphologique de l'ensemble des Thermes. Il faut toutefois rester attentif à ne hiérarchiser que les éléments compatibles entre eux. Deux éléments de même dimension (les ouvertures de la plupart des absides) ou de même morphologie (comme les couvertures du caldarium et du tepidarium) mais

indépendants, doivent correspondre à des variables indépendantes l'une de l'autre dans ce cas précis. Enfin, la modification des données n'est pas limitée par le logiciel : toutes les opérations sont réversibles, à l'instar des opérations booléennes. Ce principe de réintervention est conditionné par la structure arborescente de la modélisation sous POV-Ray, décrite sous forme textuelle, par nature modifiable. Ainsi, avec deux jeux de plans, l'un côté numériquement, l'autre par des variables, l'utilisateur peut procéder à des modifications en cas d'erreur de relevé ou pour affiner une hypothèse archéologique déjà modélisée.

les niveaux de modélisation

Un premier modèle de structure "nue" (sans parement) des Thermes permet une première vérification d'hypothèses archéologiques structurelles. La réutilisation des paramètres et des relations entre variables de la structure "nue" pour modéliser le parement intérieur permet de passer à un deuxième niveau de modèle pour affiner les hypothèses précédentes. Le paramétrage des dimensions permet alors des allers et retours entre structure "nue" et parementée, combinaison autorisant une grande souplesse dans la validation des hypothèses. Par exemple, au premier niveau de modélisation, on peut vérifier la présence ou non de tubuli (conduits d'évacuation des fumées accrochées aux murs des pièces chauffées) dans certaines parois, les traces de tenons de bronze leur servant de soutien étant partielles et disséminées sur le site ; la présence de redans dans ces parois rend très probable la présence de tubuli sur celles-ci, montrant ainsi le rattrapage du placage par rapport à la structure de base. Par ailleurs, toujours au premier niveau de modélisation, on a pu se rendre compte que la restauration du massif en encorbellement Ouest du couvrement du caldarium était incorrecte : l'ouverture des cheminées, trop grande sur le site, montre que la courbure restaurée de la voûte est trop élevée (Figure 18-19).

Au deuxième niveau de modélisation, la jonction des tubuli avec les ouvertures d'évacuation situées dans la naissance des voûtes du mur Nord du caldarium pose un problème qui se résout avec l'adjonction de l'épaisseur du placage de marbre ou de l'enduit de parement intérieur, ce qui se traduit dans le modèle informatique par l'entrée d'une

tural reconstruction.

- The absence of strict structural rules for plan and elevation is a characteristic of the Thermae of Constantin. The systematization and the respect for modular principle of a building like the Arles Roman amphitheatre (or of the imperial baths) can not be adapted to the Thermae, because of the unusual characteristic multiplicity of our building, in contrary to a building such the amphitheatre, which made from modular repetition. To sum up, the process of architectural reconstruction of the Thermae of Constantin can be formalized in Figure 17.

conclusion

With the use of simple geometric models, a tool like POV-Ray allows the formulation of architectural hypotheses comprehensible by the participants in this project. Acting as a dialogue tool between architect and archaeologists, the software can not take part in the restoration of a building, which is the field of other methods such as stereophotogrammetric plotting or laser. However, it yields a useful model for general public simulations such as virtual reality, on the condition that a model compatible with the real time navigation, for example the VRML language, can be produced. In this context, the model used in this exercise, requires conversion into an environment which can produce this kind of data, and this work is facilitated by the use of a finished model based on hypothesis formulation made with POV-Ray.

endnotes

¹ POV-Ray™ is based on DKBTrace 2.12 by David K. Buck and Aaron A. Collins. See <http://www.povray.org/povcd>.

references

- Adam, Jean-Pierre. "La construction Romaine - Matériaux et techniques," Grands Manuels Picard.
- Gros, Pierre, 1996. "L'Architecture Romaine - Les Monuments Publics," Les manuels d'Art et d'Archéologie antique, Picard éditeur.
- Choisy, Auguste, 1984. "L'Art de bâtir chez les Romains," Arnaldo Forni editore - Réédition.
- Ward Perkins, John B. 1994. "Architecture Romaine." Editions Gallimard, Milano.
- Sintes, Claude and Michèle Moutashar, 1996. "Musée de l'Arles Antique." Actes Sud.
- l'EFR, 1988. "Les thermes Romains," Actes de la table ronde organisée par l'EFR, Rome, 11-12 Novembre 1988, Collection de l'Ecole Française de Rome, 142
- Bouet, Alain. "Les thermes privés et public en Gaule Narbonnaise" Doctorat de l'Université de Provence - Aix - Marseille.
- UFR Civilisations et Humanités - Centre Camille Jullian
- Quintrand, Paul, et al, 1985. "La CAO en architecture." Hermes.
- Aune, Olivier, 1996. "Vers un Musée Virtuel."

variable d'épaisseur de parement appliquée aux surfaces concernées : en effet, la nécessité d'une apparence régulière de la courbure des voûtes du caldarium induit la position de la jonction entre tubuli et évacuations. La possibilité de plusieurs vues tridimensionnelles de cette articulation permet une validation rapide de la meilleure hypothèse. Cette possibilité d'une distinction entre structure "nue" et parementée dans la phase de modélisation permet d'explorer toutes les pistes structurelles et architecturales (rapport forme/fonction) lors d'hypothèses architecturales, puis de disposer des données d'un bâtiment "fini", exploitables lors du passage sur un modèleur plus puissant pour une communication grand public.

les modèles-types

La préparation de "modèles-types" paramétrés, comme les systèmes de couverture, facilite la mise en place d'hypothèses par simple mise à l'échelle et transformation de ce modèle sur une structure déjà modélisée. L'utilisation de modèles a été très utile pour établir un schéma d'éclairage satisfaisant pour les différentes pièces des Thermes. Les traces d'ouverture visibles seulement dans le caldarium et le laconicum ont permis de mettre en place un modèle d'ouverture propre aux Thermes de Constantin. Pour la réalisation de ces modèles-types, le "relevé" des dimensions d'éléments existants, comparés à des modèles d'autres édifices, permet la formulation de nouvelles hypothèses archéologiques "dimensionnelles".

validation méthodologique

- La principale contrainte de la modélisation informatique réside dans la régularité des formes géométriques inhérentes à cette modélisation. Cette régularité est souvent contradictoire avec le "relevé" du site qui admet bien des exceptions géométriques. Dans le cas de POV-Ray, l'utilisation d'une modélisation par primitives régulières, seule approche réellement utilisable dans le cas d'un bâtiment comme les Thermes de Constantin, ne porte pas à conséquence dans la vérification d'hypothèses avec les archéologues par rapport à l'échelle de restitution.
- L'ensemble des fichiers de modélisation ne

constitue pas une base de données exploitable à des fins de relevé, mais un outil essentiel à la formulation d'hypothèses archéologiques lors d'une restitution architecturale.

- L'absence de règles de composition stricte, autant en plan qu'en élévation, est une caractéristique des Thermes de Constantin. Le systématisme et l'obéissance au principe modulaire d'un bâtiment comme le cirque romain d'Arles (ou des thermes impériaux) n'a pu être adapté aux Thermes : c'est l'objet lui-même qui l'interdit par la multiplicité de ses caractères particuliers, contrairement à un bâtiment comme le cirque qui procède de la répétition de modules.

En résumé, ce protocole de la restitution architecturale des Thermes de Constantin peut être formalisé dans la Figure 20.

conclusion

Grâce à l'utilisation de modèles géométriques simples, un outil comme POV-Ray permet la formulation d'hypothèses architecturales compréhensibles par les différents intervenants du processus mis en oeuvre pour les Thermes de Constantin. Outil de dialogue entre l'architecte et l'archéologue, il atteint sa limite dans le suivi et la restauration d'un bâtiment, qui reste du domaine du relevé stéréophotogrammétrique ou par méthode laser. Toutefois, il permet la mise en place d'une maquette exploitable dans les simulations à vocation grand public, telle la réalité virtuelle, à condition de pouvoir produire un modèle compatible avec la navigation en temps réel, par exemple le langage VRML. Dans ce contexte, le modèle que nous avons utilisé nécessite une conversion dans un environnement capable de produire ce type de données, travail grandement facilité par le dimensionnement réalisé à l'issue des formulations d'hypothèses architecturales sur POV-Ray.