HAL
open science

La restitution archéologique 3D pour valoriser, comprendre ou expérimenter. L'exemple de la Rome antique

Sophie Madeleine

To cite this version:

Sophie Madeleine. La restitution archéologique 3D pour valoriser, comprendre ou expérimenter. L'exemple de la Rome antique. Revue XYZ, 2014, 138, pp.56-63. hal-01596454

HAL Id: hal-01596454

https://hal.science/hal-01596454v1

Submitted on 2 Oct 2017

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.

xyz

aft
association française de topographie
n° 138

Numérisation 3D de la grotte ornée des Fraux (Dordogne)
page 33

La topographie au service de la Gendarmerie nationale

page 19

n° 138 – Mars 2014 – 1er Trimestre • 36ème année • 23 € • ISSN 0290-9057 • Internet : www.aftopo.org

SOMMAIRE

N° 138 • Mars 2014 • 1er trimestre

La revue XYZ est éditée par l'association française de topographie

Membre de la FIG (Fédération internationale des géomètres)

73, avenue de Paris - 94165 Saint-Mandé Cedex - Tél. : 01 43 98 84 80 - Fax : 01 43 98 25 31

Courriel : info@aftopo.org • Site Internet : http://www.aftopo.org

Editorial 5

Info-Topo

> Les informations de la profession 6

Manifestation

> Concours Géoportail 10

Erratum

> XYZ N°137 : Sur les traces de Paul-Emile Victor, à la recherche du Colonel Jean Nevière 12

Distinctions 13

La vie de la profession

> L'OGE communique
Jean-Pierre MAILLARD 14

Réglementation

> CNCE : un guide à suivre
Jean-Pierre MAILLARD 15

Urbanisme

> 3D, Bâtiment et Territoire - Un réseau pour la 3D
Entretien avec Philippe THÉBAUD
Propos recueillis par Emmanuel NATCHITZ 16

Topographie

> La topographie au service de la Gendarmerie nationale : fixation de l'état des lieux dans un contexte criminalistique (concept et moyens)
Hervé DAUDIGNY - Christophe LAMBERT - Pascal LAMUSSE - Guillaume GALOU - Jérémy SINNAEVE - Ludovic FLEURY 19

GPS

> Les Geocubes : réseau de capteurs autonomes géolocalisés pour la surveillance de structures et de zones à risque
Lionel BENOÎT - Olivier MARTIN
Christophe MEYNARD - Christian THOM 26

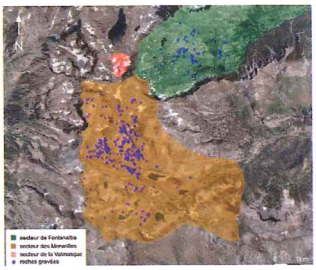
Lasergrammétrie

> Numérisation 3D de la grotte ornée des Fraux (Dordogne) : apport à l'archéologie et à la cartographie du champ magnétique
Pierre GRUSSENMEYER - Albane BURENS - Laurent CAROZZA - François LÉVÊQUE - Samuel GUILLEMIN - Vivien MATHÉ 33

Géodésie

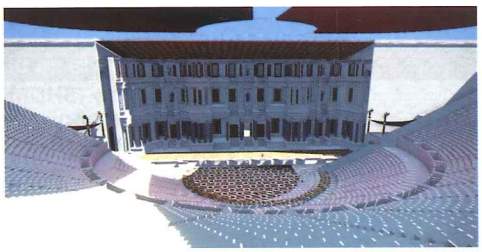
> PPP : la maturité ?
Laurent MOREL - François FUND - Romain LEGROS Stéphane DURAND - Bernard FLACELIERE 42

SIG



> Vallée des Merveilles : relevés topographiques et SIG archéologique
Gabriel VATIN - Nicoletta BIANCHI 51

Patrimoine



> La restitution archéologique 3D pour valoriser, comprendre ou expérimenter
L'exemple de la Rome antique
Sophie MADELEINE 56

Art et géométrie

> Romano Zanotti : le rythme dans la peinture
Jean-Pierre MAILLARD 64

Livres 66

GSF

> Partenariats pérennes et nouveaux de GSF
Claire GALPIN 68

Pour la recherche de nos annonceurs consulter la page 67.

PROCHAIN XYZ - n° 139
Limnimétrie par réflectométrie GNSS à faible coût

Directeur des publications
Tania Landes
Maître de conférences
INSA de Strasbourg
Rédaction et administration XYZ
73, avenue de Paris
94165 Saint-Mandé Cedex
Tél. 01 43 98 84 80
Rédacteur en chef
Bernard Flacelière
Ingénieur topographe
Rédacteur en chef adjoint
Michel Trouillet
Ingénieur topographe
Comité de Rédaction
André Bailly
Ingénieur géomètre ETP
Françoise Duquenne
Ingénieur général des Ponts honoraire
Stéphane Durand
Enseignant-chercheur
Pierre Grussenmeyer
Professeur des universités
INSA de Strasbourg
Jean-Pierre Maillard
Géomètre-expert foncier
Michel Kasser
Professeur des universités
Tania Landes
Laurent Morel
Enseignant-chercheur
Emmanuel Natchitz
Ingénieur géomètre
Responsable du site Internet
Tania Landes
Publicité
Samuel Guillemin
Tél. 06 72 12 08 97
communication@aftopo.org
Conception et maquette
Dorothée Picard
ALBEDIA IMPRIMEURS
Zone industrielle de Lescudilliers
26 rue Gutenberg
BP 90449 - 15004 Aurillac Cedex
Tél. 04 71 63 44 60
Fax 04 71 64 09 09

IMPRIM'VERT®
PEFC 00-00-0000

Dépôt légal
1er trimestre 2014 ISSN 0290-9057
N° CPPAP : 0116 G 80866
Tirage de ce numéro : 1 600 ex
Abonnement annuel
France : 83 €
Etranger (dont CEE) : 86 €
Les règlements payés par chèques payables sur une banque située hors de France doivent être majorés de 10 €, sauf à utiliser l'identifiant international de compte IBAN
FR69 2004 1000 0116 3000 3Y02 048
Le numéro : 23 €
Membre du Syndicat de la presse culturelle et scientifique (SPCS)
L'AFT n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou les articles qu'elle publie.
Tous droits de reproduction ou d'adaptation strictement réservés.

Couverture : la topographie au service de la Gendarmerie nationale, levé codé par GNSS.

La restitution archéologique 3D pour valoriser, comprendre ou expérimenter

L'exemple de la Rome antique

Sophie MADELEINE

MOTS-CLÉS
Réalité virtuelle, architecture, patrimoine

Le propre de l'homme est de rêver et l'évolution des technologies a parfois permis de réinventer ces rêves, de leur donner une nouvelle dimension tout en continuant de faire briller les yeux du plus grand nombre. Restituer la Rome antique est l'une de ces grandes entreprises qui présentent un intérêt collectif mais qui suscitent en même temps quelque méfiance, par l'ampleur de la tâche à accomplir. Misant sur une évolution rapide des technologies informatiques, un laboratoire caennais, dépositaire d'une des trois seules grandes maquettes intégrales de la Rome antique, décide de franchir le pas et se lance dans le projet dès le milieu des années 90. La restitution est toujours en cours car elle suit l'évolution de la recherche dans le domaine mais aussi celle des technologies. Il est aujourd'hui possible de visualiser des quartiers entiers de Rome en réalité virtuelle, soit sur un grand écran muni de lunettes stéréoscopiques, soit sur des supports nomades (smartphones ou tablettes) pour des expériences individualisées.

L'intérêt d'un tel projet est de valoriser, de comprendre et surtout d'expérimenter des hypothèses. Cet article sera centré sur la restitution virtuelle du théâtre de Pompée à Rome *(figure 1)*, afin d'aborder deux problématiques : la restitution architecturale et l'expérimentation des systèmes mécaniques liés au spectacle. Enfin, nous verrons comment l'application développée sur la Rome antique a entraîné la création d'un Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle (CIREVE®) à l'Université de Caen Basse-Normandie, un plateau technique mutualisé associant les compétences de scientifiques et d'infographistes pour proposer leur savoir-faire à tous ceux qui souhaitent mettre en valeur leur patrimoine.

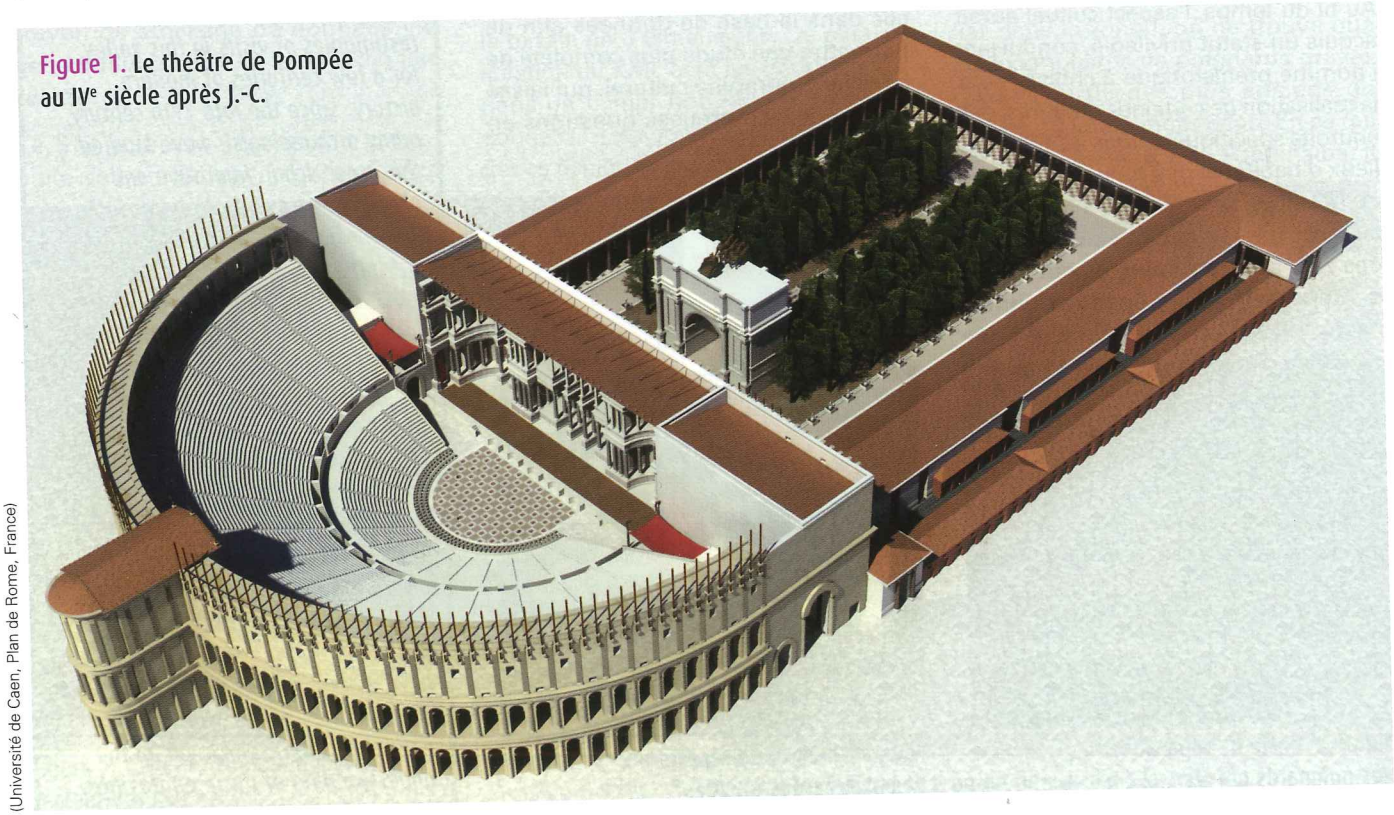


Figure 1. Le théâtre de Pompée au IVe siècle après J.-C.

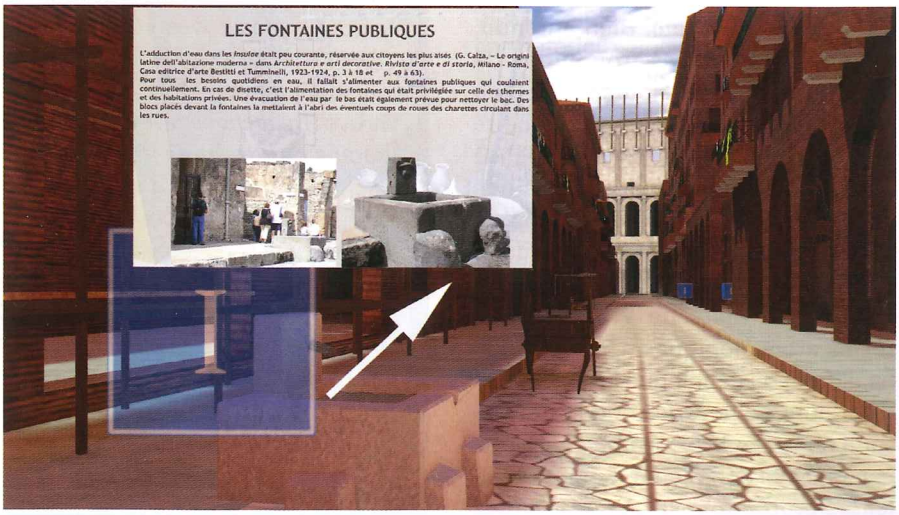
(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 2. La persistance du tracé du théâtre de Pompée dans le tissu urbain de Rome aujourd'hui.

Le théâtre de Pompée à Rome : restitution de l'architecture

Le choix du cas d'étude est dicté par un paradoxe : le théâtre de Pompée est un bâtiment incontournable de l'histoire architecturale de Rome, mais, du fait de sa disparition quasi totale dans le tissu urbain moderne *(figure 2)*, il est complètement ignoré par la plupart des non-spécialistes. La restitution virtuelle de l'édifice présentait donc un défi qui fut relevé dans le cadre d'une thèse en études anciennes. Toute restitution du patrimoine demande en effet une étude approfondie du dossier scientifique avant de proposer des visualisations qui resteront dans les esprits comme des réalités, alors même que ce ne sont souvent que le fruit d'hypothèses. Pour que l'utilisateur du modèle virtuel connaisse le degré de certitude de la restitution, l'équipe "Plan de Rome" (www.unicaen.fr/rome) a développé une application interactive liée à une base de données qui permet à chacun de consulter les sources disponibles et donc de juger de la pertinence des choix scientifiques *(figure 3)*. L'étude de ces sources littéraires, iconographiques ou archéologiques est capitale, mais elle doit aussi s'accompagner d'une démarche de compréhension complète de l'histoire de l'édifice et de ses fonctions. On ne peut bien restituer qu'un bâtiment que l'on appréhende globalement. Le théâtre de Pompée demandait à ce titre une attention particulière car c'est le premier théâtre en pierre qui fut construit à Rome, en 55 avant J.-C. Il symbolise également une véritable révolution architecturale puisque pour la première fois, un édifice de spectacle est implanté en plaine, sans s'adosser aux pentes d'une colline. Les gradins sont donc soutenus sur des arcades de substruction en béton, qui permettent de construire des édifices de taille conséquente en s'exonérant des contraintes de relief. Ce modèle de construction connut un sort heureux puisqu'il permit notamment au Colisée d'accueillir au moins 50 000 spectateurs dans une dépression que Néron avait projeté de transformer en lac intérieur pour sa "Maison Dorée".

Pour restituer le théâtre de Pompée, la première étape consista à analyser tous les textes latins et grecs qui parlaient du monument. Ce sont en effet des témoignages précieux, parfois contemporains, qui donnent des indices sur l'aspect du bâtiment à une époque donnée. Une centaine de textes latins et une vingtaine de textes grecs furent ainsi mobilisés. Les sources iconographiques furent ensuite étudiées. Il peut s'agir d'émissions monétaires sur lesquelles le bâtiment est représenté, de bas-reliefs, de peintures, etc. Un des documents essentiels est la *Forma Vrbis Romae*. Il s'agit d'un plan de marbre que les Romains gravèrent au IIIe siècle de notre ère et qui représente Rome à l'échelle 1/240. Ce plan, qui mesurait 13 m sur 18 m, était affiché dans le centre de la ville. Si l'intégralité de ce plan était parvenue jusqu'à nous, la topographie de la ville à cette époque serait parfaitement connue. Malheureusement, le plan fut détruit et seulement 10 % à 15 % de l'ensemble est aujourd'hui conservé à l'état de fragments. Le théâtre de Pompée connut un sort assez heureux car huit morceaux le représentant sont aujourd'hui préservés et ils nous donnent des renseignements importants, notamment sur les cotes des différents éléments (*figure 4a*). L'archéologie fut enfin essentielle pour comprendre ce bâtiment disparu dans son élévation. Les fouilles menées sur le site permettent, entre autres choses, de connaître le diamètre du théâtre (158 m pour une capacité d'environ 20 000 spectateurs), le diamètre de l'*orchestra*



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 3. Les panneaux documentaires accessibles depuis le modèle virtuel

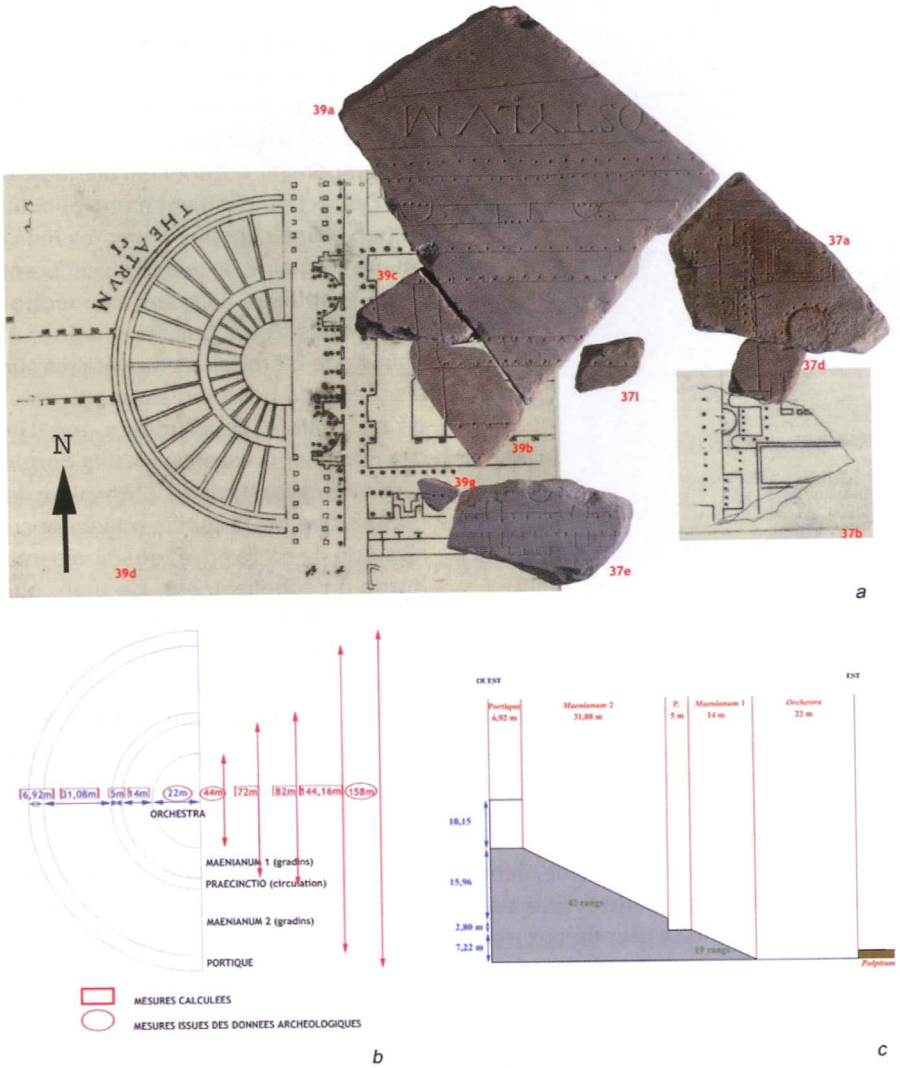
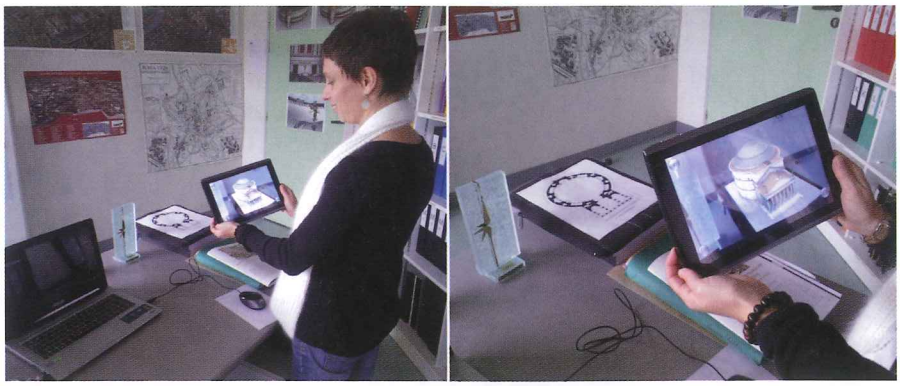


Figure 4. Définition du plan au sol et de l'élévation

(la partie semi-circulaire au pied des gradins) de 44 m et les matériaux utilisés sur certaines parties du bâtiment : gradins en marbre blanc, mur de scène pourvu de colonnes en granite gris, en marbre blanc, etc. Bien entendu, la confrontation des trois types de sources n'est pas toujours facile, d'où l'importance du dossier préliminaire à la restitution qui doit être réalisé par des spécialistes des domaines abordés. L'élévation des gradins du théâtre de Pompée a ainsi été déduite de la compilation de la *Forma Vrbis Romae*, du texte de Vitruve et de restes archéologiques. L'archéologie ne permet de définir que les diamètres extérieurs de la *cauea* et de l'orchestra. La *Forma Vrbis Romae* est donc exploitée en complément, pour calculer les proportions des autres parties du théâtre (*figure 4b*).

Aucune source ne précisant la hauteur totale de la *cauea*, il convient d'estimer la hauteur de chaque gradin et sa profondeur en utilisant trois sources : les normes données par Vitruve, les trois gradins retrouvés sur le théâtre de Pompée et les gradins des théâtres chronologiquement proches.

1. Vitruve (*De architectura*, 5, 6, 3) : *"Les gradins correspondants aux places ne doivent pas être d'une hauteur inférieure à un pied et une paume (36,96 cm) ni supérieure à un pied six doigts (40,67 cm). Leur largeur [i.e. la profondeur des gradins] ne doit pas être supérieure à deux pieds et demi (73,92 cm), ni inférieure à deux pieds (59,14 cm)"*.
2. Les trois gradins du théâtre de Pompée conservés : en 2006, A. Monterroso Checa a publié les dimensions de trois gradins en marbre de Luni appartenant au théâtre de Pompée. Les deux premiers font 38 cm de haut et le dernier, entaillé, mesure 34 cm. Les trois éléments sont amputés dans leur profondeur.
3. La moyenne réalisée sur des théâtres contemporains : nous avons calculé une hauteur moyenne de 40,55 cm de haut et une profondeur moyenne de 75,30 cm à partir de treize théâtres, datés entre le Ier siècle a.C. et le Ier siècle p.C. : Cibyra, Kaunos, Tlos, Gythion, Pompéi, Sparte, Oinoanda, Antioche de Pisidie, Vienne, Orange, Lyon, Nysa et Aizanoi. Les gradins de la restitution virtuelle mesurent donc 38 cm de haut, la source archéologique étant incontestable. Considérant que pour la hauteur, nous sommes à l'intérieur de la fourchette donnée par Vitruve et que la moyenne des profondeurs calculée sur d'autres théâtres est légèrement supérieure à cette fourchette, nous adoptons pour la profondeur la limite haute du *De architectura*, soit deux pieds et demi (73,92 cm). Il fallait ensuite définir si la pente des gradins était la même sur toute la *cauea*. Nous sommes là encore partie de Vitruve. Comme le *De architectura* a été publié vers 25 a.C., l'architecte ingénieur a nécessairement observé le théâtre de Pompée. Même si les réalités contemporaines ne sont pas les seules dont il tienne compte, il peut avoir à l'esprit les solutions architecturales du complexe pompéien quand il écrit que les gradins doivent être parfaitement alignés, pour que l'extrémité de chacun d'entre eux puisse toucher une même ligne (*De architectura*, 5, 3, 4). Selon lui, la pente est donc la même tout le long de la *cauea*. Au moins trois théâtres ont une profondeur de gradins uniforme, conformément aux recommandations de Vitruve : ceux de Vaison (29°), d'Hérode Atticus à Athènes (31°) et de Milet (30,30°). Nous savons qu'en fait, pour des raisons acoustiques, il est préférable d'avoir une diminution progressive de la surface d'assise des gradins au fur et à mesure que l'on monte vers le haut de l'édifice et que par



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 5. Le panthéon en réalité augmentée

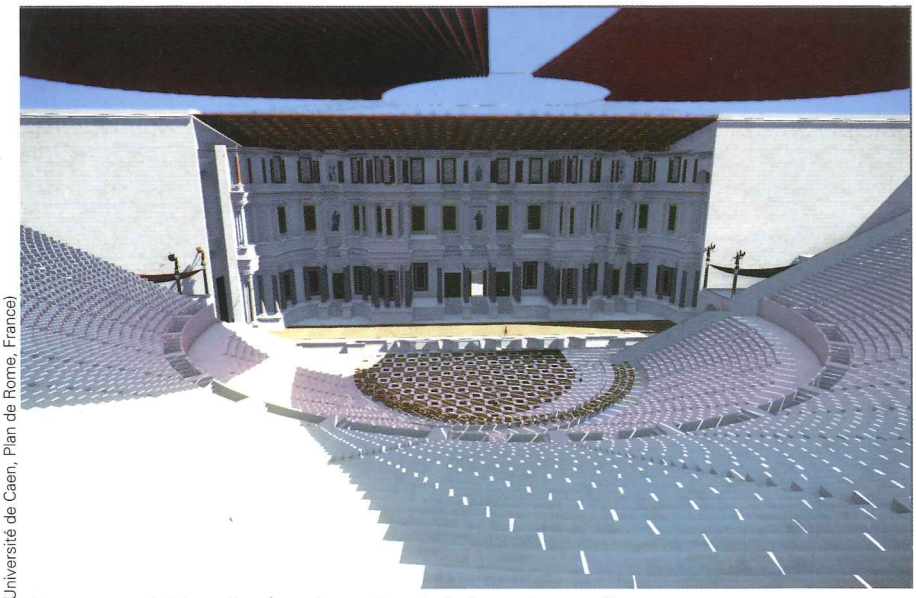
conséquent, la pente du deuxième *maenianum* peut être plus forte que celle du premier. Toutefois, eu égard au texte de Vitruve, confirmé par quelques témoignages archéologiques, nous avons gardé une homogénéité dans la cauea : avec des gradins de 38 cm de haut pour une largeur de 73,92 cm, la pente est de 28°. Sur les trois gradins conservés, de section triangulaire, la superficie d'appui présente en effet un angle de 28°.

En combinant ces mesures de gradins aux estimations de largeur des *maeniana* effectuées à partir de la *Forma Vrbis Romae*, 19 rangs sont modélisés sur le premier *maenianum* (7,22 m de haut) et 42 rangs sur le second (15,96 m de haut, voir *figure 4c*). Il faut ensuite ajouter la reprise de niveau après la *praecinctio*, l'espace de circulation entre les deux volées de gradins, estimée à 2,80 m. La structure sur arcades atteindrait donc 25,98 m. Viennent s'additionner à la hauteur de ces gradins les 10,15 m estimés du portique installé en haut de la *cauea*, ce qui donne un ensemble de 36,13 m sans le toit du temple de *Vénus Victrix*.

Pour pouvoir effectuer la synthèse des sources, il est essentiel de choisir une date précise car, dans le domaine de la représentation par l'image, la démarche synchronique est la seule qui soit scientifiquement possible. La restitution est en quelque sorte l'équivalent d'une photographie de la Ville un jour donné : pour être scientifiquement crédible, elle ne peut mêler des éléments appartenant à des instants différents. La restitution virtuelle de l'équipe "Plan de Rome" représente Rome au début du règne de Constantin, en 320 après J.-C., et même plus précisément le 21 juin à 15 h. La précision est essentielle pour placer le soleil virtuel à la latitude réelle de Rome à un jour et une heure donnés. Le choix de la période historique représentée a été mûrement réfléchi et il repose sur plusieurs niveaux de considération. Le premier est d'ordre muséographique et pédagogique : il nous a semblé intéressant que le visiteur puisse comparer la maquette virtuelle à la maquette physique de Paul Bigot (qui a lui aussi choisi cette période, cf. www.unicaen.fr/rome) et aux restes encore visibles à Rome, qui sont généralement le dernier état "antique" du bâtiment. Le deuxième est d'ordre architectural et urbanistique : le règne de Constantin marque l'apogée monumental de la Rome antique. Le troisième argument est d'ordre archéologique : c'est naturellement pour la dernière période de l'Antiquité que la masse des informations archéologiques est la plus importante. Le quatrième niveau est d'ordre méthodologique et il est lié au précédent : nous souhaitons à terme représenter plusieurs niveaux chronologiques de l'urbanisme romain et, comme en archéologie la première couche fouillée et éventuellement restituée est toujours la plus récente, il nous a semblé naturel de procéder dans le même ordre.

Une fois l'ensemble des sources exploitées, la restitution virtuelle peut commencer et se décompose en plusieurs étapes. La géométrie de l'environnement est d'abord tracée (plan au sol et élévation). Vient ensuite l'étape de texturage : des matériaux sont appliqués au modèle qui sera enfin éclairé. Nous travaillons autant que possible avec des photographies de matériaux anciens afin d'augmenter le réalisme de la scène virtuelle. Le modèle est ensuite exporté dans un logiciel d'interactivité qui permettra à l'utilisateur d'interagir avec le monde virtuel. Selon le logiciel choisi, la navigation peut être envisagée sur un écran en haute définition ou sur des supports nomades (tablettes ou smartphones), avec toute la gamme des applications offertes par les techniques de réalité augmentée *(figure 5)*.

Les deux modes de visualisation nous semblent en effet complémentaires. L'affichage sur grand écran, éventuellement en stéréoscopie, est le support



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 6. Le théâtre de Pompée vu depuis le haut des gradins

(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 7. Vue depuis la loge de l'empereur

idéal pour qu'un médiateur scientifique emmène son public visiter la Rome antique comme le ferait un guide au milieu des ruines. L'application nomade permet quant à elle des expériences individualisées, les explications du guide étant remplacées par la base de données directement accessible dans le modèle interactif.

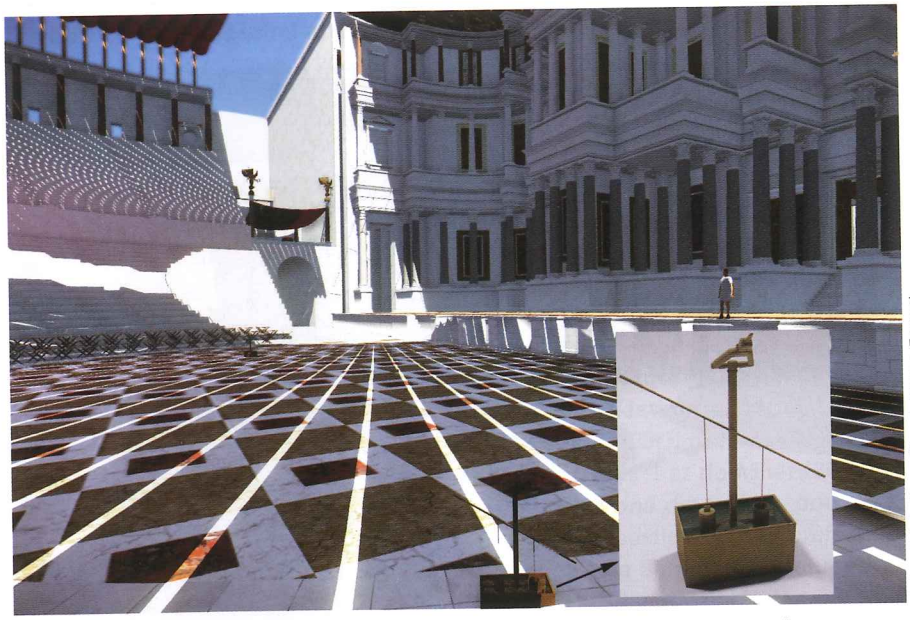
Les restitutions virtuelles sont développées dans une double perspective :
1. pour la recherche en testant des hypothèses et en expérimentant
2. pour des applications pédagogiques, de la valorisation ou de la communication. Nous ne prendrons ici que deux exemples de questions qui ont été résolues par la création du modèle virtuel du théâtre de Pompée. La première question était : comment les spectateurs installés en haut du théâtre de Pompée percevaient-ils les acteurs ? On se rend compte en circulant dans l'édifice restitué que les derniers rangs n'offraient pas une vue satisfaisante des acteurs *(figure 6)* mais ces places étaient réservées aux couches inférieures de la société et les couleurs des vêtements portés par les acteurs devaient aider à repérer le rôle joué par chacun. Les acteurs portaient ensuite des masques qui grossissaient leurs traits et qui servaient de porte-voix. Naturellement, plus on se rapprochait des places du bas, réservées aux notables de la cité, et plus la vue sur le spectacle était satisfaisante.

L'empereur avait, quant à lui, une loge qui lui était réservée, reléguée sur le côté du *pulpitum*, ce que nous appelons aujourd'hui la scène. La seconde interrogation concerne justement la perception que le dirigeant avait du spectacle. Etait-il bien placé ? Le modèle interactif permet de s'installer dans la loge pour tester le point de vue *(figure 7)*. On se rend compte que sa situation est idéale pour suivre le spectacle. La majorité des spectateurs peut de plus le voir et l'applaudir, ce qui contribue à la propagande impériale. Nous montrons que l'interactivité avec un modèle virtuel archéologique est non seulement un support d'illustration mais aussi un outil de compréhension utile à la recherche.

D'un point de vue pédagogique, les modèles virtuels interactifs permettent à un médiateur culturel d'emmener des élèves ou des étudiants visiter la Rome antique à l'échelle 1/1. Le support s'adapte à tous les niveaux, du primaire au milieu universitaire, car rien n'est précalculé. Il est possible de s'adapter constamment au public et de proposer autant de visites différentes d'un même bâtiment qu'il y aura d'auditoires différents. La vision stéréoscopique offre par ailleurs une approche ludique : elle permet de capter l'attention des élèves pour mieux envisager la passation du savoir. Les apports pour la valorisation et la communication sont suffisamment explicites pour ne pas demander de plus amples développements.

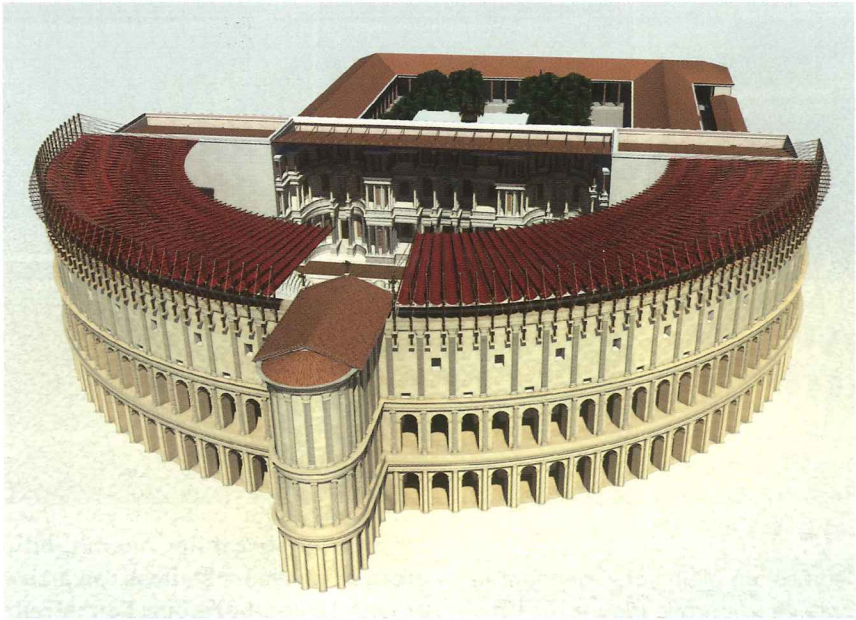
Les systèmes mécaniques liés aux représentations théâtrales

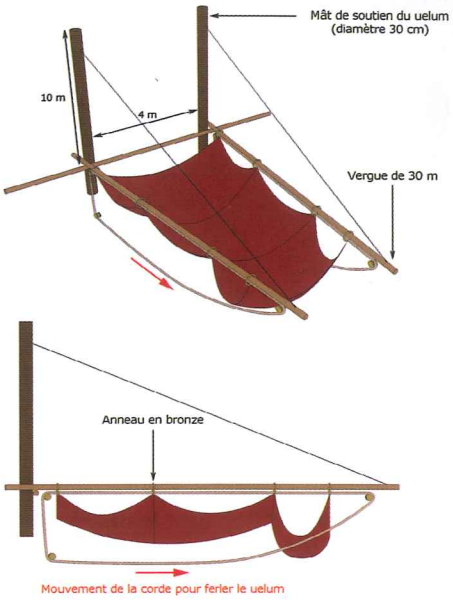
Pour pousser plus loin l'intérêt de la restitution virtuelle, nous avons travaillé sur deux systèmes mécaniques qui sont attestés pour le théâtre de Pompée : les pompes, utilisées pour les brumisations d'eau pendant la représentation, et le vélum, un mécanisme qui permet de déployer des toiles en lin au-dessus des gradins pour protéger les spectateurs du soleil. Cette problématique est complémentaire à la restitution de l'architecture car



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 8. Le théâtre de Pompée vu depuis l'*orchestra*. Au premier plan, une des pompes utilisées pour les *sparsiones*



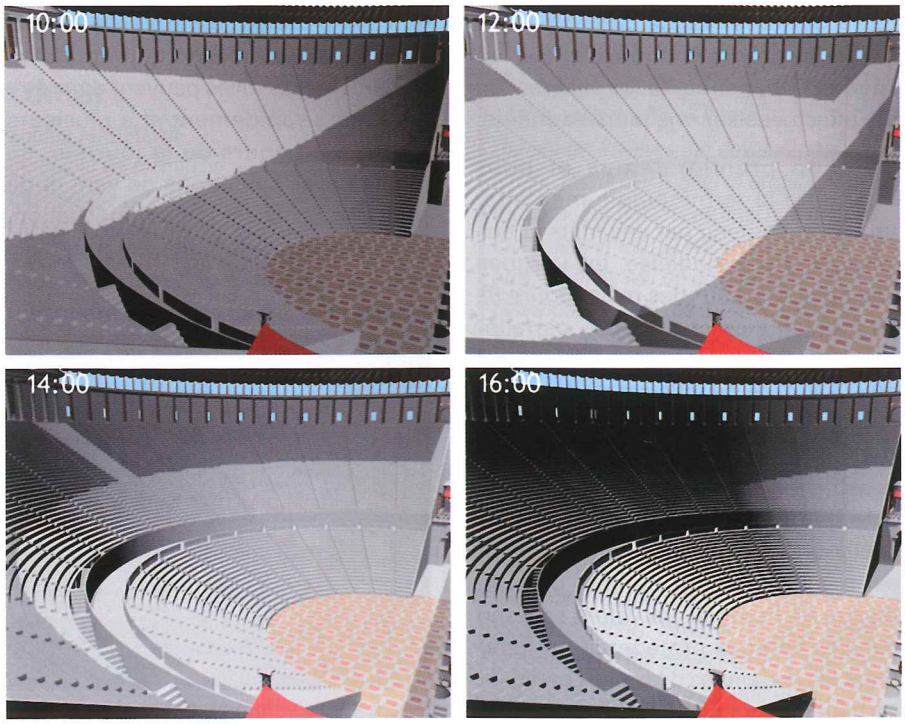


(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 9. Le vélum à vergues

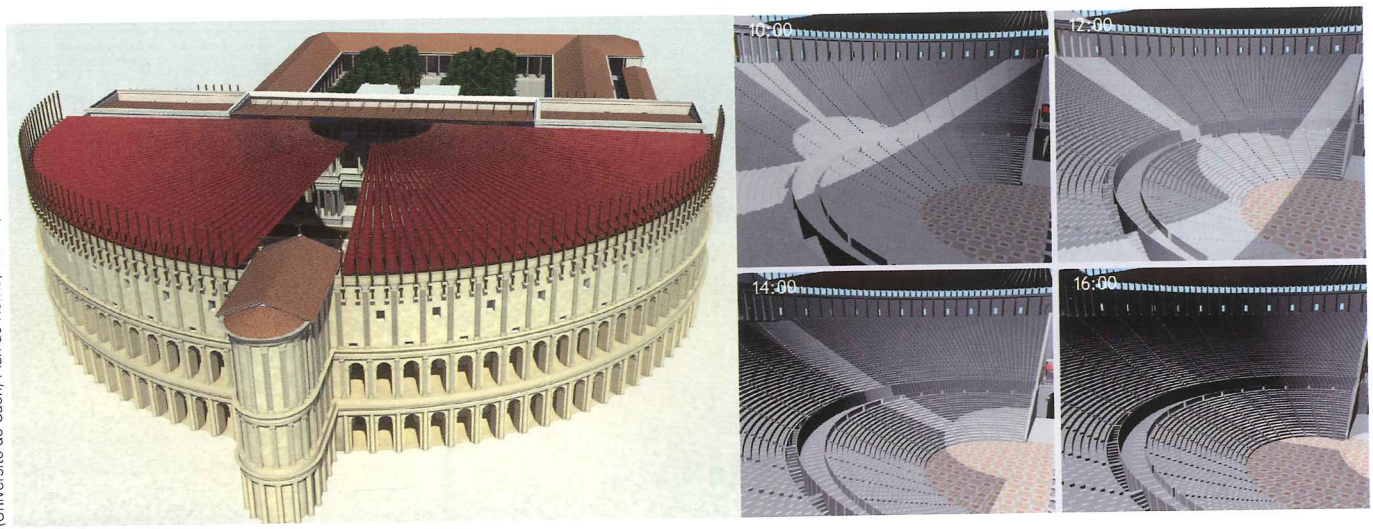
un spectacle, ou un lieu de spectacle, n'offre pas seulement une relation bipolaire entre spectateurs et acteurs. Une troisième composante est fondamentale : la présence des techniques auxiliaires du spectacle.

Pendant certaines de leurs représentations, les Romains réalisaient des *sparsiones*, des brumisations d'eau parfumée et/ou colorée au safran qui étaient dirigées soit vers la scène, soit plus rarement vers les spectateurs, pour les rafraîchir. A notre connaissance, ces brumisations n'avaient jamais fait l'objet d'étude précise, ni de tentative de restitution. Pourtant, elles sont bien attestées par les textes anciens et elles accompagnaient souvent les spectacles. L'équipe "Plan de Rome" a restitué la seule machine capable de pulvériser de l'eau sous pression dans l'Antiquité : la pompe à pistons. C'est une machine qui est parfaitement décrite par Vitruve, un architecte ingénieur du Ier siècle avant J.-C., et par Héron d'Alexandrie un siècle plus tard. Différentes pompes en bois ou en bronze ont également été retrouvées sur des sites archéologiques et elles complètent les données issues des textes, notamment pour la restitution de la buse installée sur le tuyau de sortie. La pompe est plongée dans un bac empli d'eau et elle est actionnée par deux opérateurs. La machine est dirigeable de tous les côtés et, en fonction de la buse qui est montée dessus, l'eau peut sortir sous forme de jet ou de fine brumisation. Ces pompes servent en effet aussi bien pour les pompiers de l'époque que pour les besoins des spectacles (*figure 8* et voir le site www.unicaen.fr/ersam pour des vidéos de mise en situation). En se fondant sur les textes qui décrivent les aspersions parfumées, on pense que les pompes n'étaient pas laissées directement à la vue des spectateurs : elles étaient probablement cachées dans des statues ou dans des décors temporaires. Cette mise en scène devait apporter de la magie au spectacle : il faut imaginer la réaction des spectateurs qui voyaient tout à coup de l'eau colorée en jaune orangé sortir d'un volcan installé sur la scène en guide de décor ou placé dans l'*orchestra,* la partie demi-circulaire qui se trouve au pied des gradins. La mise en action de cette pompe dans le théâtre de Pompée était donc un challenge important lié à la virtualisation de l'édifice.



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 10. Efficacité du vélum à vergues



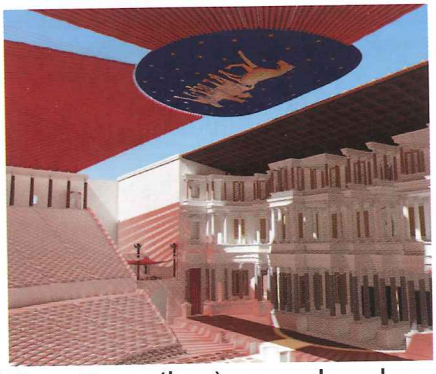
(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 11. Le vélum à anneau central de cordes

Dans la même perspective de recherche, différents systèmes de vélums ont été testés sur le théâtre de Pompée, chaque fois accompagnés de tests d'efficacité. La démarche a été exactement la même que pour la restitution de l'architecture, à savoir l'analyse des sources puis la restitution, mais deux étapes supplémentaires ont compliqué le travail. Un physicien de l'Université de Caen Basse-Normandie s'est dans un premier temps penché sur les paramètres purement techniques. Il ne s'agissait pas de restituer virtuellement un système théorique sans tenir compte des questions de statique et de dynamique. Ensuite, une fois le système "validé", son efficacité a été testée : le vélum a été déployé sur l'édifice et des simulations solaires ont été effectuées sur une journée entière.

Dans un premier temps et pour reprendre la terminologie maritime, un vélum soutenu par des mâts et des vergues a été modélisé, les vergues étant placées à 90° des mâts *(figure 9)*. Le problème de ce système, parfaitement attesté pour de petits édifices, est que la surface de toile est relativement réduite puisqu'elle est liée à la longueur des vergues. Ces dernières devant être constituées d'une seule pièce de bois pour que les anneaux soutenant la toile coulissent correctement, leur longueur est nécessairement limitée. Dans le théâtre de Pompée, un vélum soutenu par des vergues protégerait parfaitement les personnes de basse condition, en haut des gradins, mais laisserait les personnes de haut rang, situées en bas de l'édifice, en plein soleil pendant la majorité de la journée *(figure 10)*. Il est très peu probable qu'un système si peu efficace ait pu exister.

Une autre hypothèse, toujours en accord avec les sources anciennes, a permis de restituer un vélum uniquement soutenu par des cordes, tendues entre des mâts situés à la fois derrière les gradins et derrière le mur de scène *(figure 11)*. Cette installation protège l'assistance avec une efficacité remarquable. Elle permet de mettre les spectateurs à l'abri des assauts du soleil de manière optimale toute l'année, notamment le 21 juin. Les calculs montrent que cinquante-six hommes déplient ce vélum en une minute et le ferlent (le replient) en deux minutes seulement. Les toiles peuvent donc être déployées rapidement et à plusieurs reprises au cours de la journée, en fonction des conditions de vent et de pluie qui contraignent son utilisation. Les textes suggèrent que, dans certains cas, il est possible de tendre une toile supplémentaire au centre du vélum. En croisant plusieurs sources, on arrive ainsi à l'hypothèse que l'empereur Néron se serait fait représenter sur une toile tendue au milieu du vélum du théâtre de Pompée, sur un char en or, traversant le ciel azuré parsemé d'étoiles, lors de la venue du roi d'Arménie. La réalité virtuelle permet de visualiser la scène *(figure 12)* et de voir l'impact de l'ajout de cette toile sur les conditions d'éclairage du théâtre.



(Université de Caen, Plan de Rome, France)

Figure 12. Le vélum à anneau de cordes agrémenté d'une toile centrale

Le Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle (CIREVE®)

Les moyens mobilisés autour de la création du modèle virtuel de la Rome antique sont conséquents, tant d'un point de vue humain que matériel. Devant ce constat, s'est créé en 2006 à l'Université de Caen Basse-Normandie un plateau technique dénommé "CIREVE®" (Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle). Il a pour but de mutualiser les matériels de réalité virtuelle et de créer des environnements de synthèse pour toutes les disciplines qui en auraient besoin.

Le CIREVE® fonctionne avec des ingénieurs informaticiens qui travaillent avec des scientifiques assurant la validité des modèles réalisés. La chaîne de travail entre les différents membres du plateau technique est rodée (définition de la problématique, élaboration du dossier scientifique et du protocole d'expérimentation, modélisation, texturage, éclairage, validation scientifique, export en interactivité) et elle peut être appliquée à tout type de

projet. D'un point de vue matériel, le CIREVE® dispose d'un amphithéâtre de 200 places équipé en vision stéréoscopique et dès le début de l'année 2015, il disposera d'une des plus grandes salles immersives de France (9 m sur 4,50 m avec projection au sol) pour mener différentes expérimentations (cf. www.unicaen.fr/cireve).

L'ensemble des ressources matérielles est disponible à la location pour les personnes ou les sociétés extérieures à l'Université de Caen Basse-Normandie, mais le CIREVE® propose aussi son savoir-faire pour créer des modèles interactifs scientifiquement valides dans tous les domaines. Le Centre Interdisciplinaire de Réalité virtuelle a ainsi reçu en 2013 le Trophée INPI (Institut National de la Propriété Industrielle) régional de l'innovation pour récompenser sa capacité à développer des modèles virtuels correspondant à la demande du marché, tout en protégeant la marque CIREVE®. Cette marque déposée permet en effet de distinguer des restitutions réalisées en milieu universitaire, avec un fort attachement à l'éthique et à la recherche. Cette marque est un label de qualité garantissant que les productions multimédias proviennent d'équipes de recherches reconnues par le Ministère de la Recherche, le CNRS et/ou l'INSERM. Plus de trois cents chercheurs, enseignants-chercheurs ou ingénieurs font partie de ce plateau technique qui a l'originalité d'être porté par les Sciences Humaines.

Les réalisations développées au CIREVE® concernent essentiellement la mise en valeur du patrimoine avec par exemple la restitution de la Maison au Grand Péristyle de Vieux-la-Romaine ou la restitution des machines utilisées dans l'Antiquité (cf. www.unicaen.fr/ersam), mais l'ouverture chronologique est bien plus large. Des monuments partiellement ou complètement détruits suite aux bombardements de la seconde guerre mondiale ont ainsi retrouvé leur aspect d'antan, ce qui participe au devoir de mémoire et à la valorisation des sites patrimoniaux.
Des environnements ont enfin été créés pour les besoins des équipes de médecine ou de neurosciences. Le CIREVE® a, entre autres exemples, construit des labyrinthes virtuels pour des sujets présentant des troubles de l'oreille interne. Un des plus grands Musées bas-normands, le Mémorial de Caen dédié à la Paix, a également été modélisé pour étudier le comportement de sujets atteints de la maladie d'Alzheimer et pour comparer leur parcours à celui de sujets sains (voir les référents scientifiques sur www.unicaen.fr/cireve). Les modèles sont aussi bien utilisables sous forme de visites virtuelles interactives ou sous forme de films précalculés. Une séquence animée présentant les lieux de citoyenneté à Rome a par exemple été réalisée pour le MuCEM, le Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée de Marseille.

Les compétences du CIREVE® sont ouvertes au monde de la recherche, mais aussi aux entreprises et aux collectivités territoriales pour faire de la réalité virtuelle un outil accessible à tous, ouvrant un vaste spectre d'applications. Ce média permet de concilier des besoins de valorisation et de communication avec des visées scientifiques : l'expérimentation dans les modèles virtuels est certainement un moyen de faire avancer la science ou, tout du moins, elle offre des possibilités de tests et de confrontations d'hypothèses riches pour la compréhension du monde qui nous entoure. ●

Contact

Sophie MADELEINE
Ingénieur de recherche au Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle (CIREVE®)
sophie.madeleine@unicaen.fr
www.unicaen.fr/cireve

Bibliographie

J.-C. Golvin *"L'image de restitution et la restitution de l'image"*, Cours de Tunis, http://www.unicaen.fr/cireve/rome/pdf/COURS1.pdf

S. Madeleine et Ph. Fleury *"La Rome antique du IVe siècle p.C. De la maquette de Paul Bigot à la restitution virtuelle de la ville"*, Actes du colloque international "Archéologie/architecture, Ingénierie-Technologie", Cluny, 17-19 novembre 2010, éd. par C. Père et J. Rollier, Coll. Archéovision, vol. 5, Bordeaux, 2011, p. 17-25.

S. Madeleine et Ph. Fleury, *"Le Plan de Rome de Paul Bigot à l'Université de Caen et son double virtuel : de l'objet patrimonial à l'outil scientifique"*, In Situ. Revue des patrimoines, 17, 2011 "Les patrimoines de l'enseignement supérieur", mis en ligne le 23 novembre 2011, URL: http://insitu.revues.org/840.

S. Madeleine, *Le théâtre de Pompée à Rome. Restitution de l'architecture et des systèmes mécaniques*, Caen, Presses Universitaires de Caen, 2014 (à paraître).

M.-C. Gagliardo et J.-E. Packer, *"A New Look at Pompey's Theater : History, Documentation and Recent Excavation"*, American Journal of Archaeology, 110, 1, 2006, p. 93-122.

A. Monterroso Checa, *"Los sedilia marmoreos del teatro de Pompeyo y su reflejo en los teatros de la Bética"*, El Concepto de lo provincial en el mundo antiguo, Homenaje a la profesora Pilar Leon Alonso, Cordoba, Vaquerizo D., Murillo J. F. Eds, 2006, p. 45-64.

Vitruve, *De l'architecture*, 5, texte établi et traduit par Saliou C., Paris, Les Belles Lettres, 2009.

ABSTRACT

Work on developing a virtual model of the city of Rome in the fourth century A.D. began in Caen in 1994. A research structure - the Interdisciplinary Virtual Reality Center (Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle or CIREVE) - supports the work of building the virtual model of the ancient city of Rome.
The project involves the development of a fully interactive model of ancient Rome that includes both its architecture and the machinery in use. In reconstituting the past, scholars will be able to test their assumptions from the architectural and topographic viewpoints and test machine functionality. The visitor to the virtual site will be able to wander through a full-scale city and enter most of its large public monuments and a few residences. He will be able to access to the source data used in the reconstruction. The work preliminary to the reconstruction itself involves the analysis of ancient source materials, which is currently being performed by the project team's members who have recourse to outside experts for help with specific points.