



HAL
open science

La Rome antique du IV^e siècle p.C. De la maquette de Paul Bigot à la restitution virtuelle de la ville

Philippe Fleury, Sophie Madeleine

► To cite this version:

Philippe Fleury, Sophie Madeleine. La Rome antique du IV^e siècle p.C. De la maquette de Paul Bigot à la restitution virtuelle de la ville. Arch-I-Tech 2010 : archéologie, architecture, ingénierie, technologie, Nov 2010, Cluny, France. pp.17-25. hal-01596483

HAL Id: hal-01596483

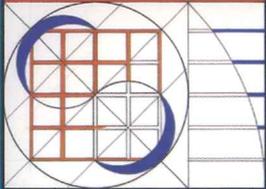
<https://hal.science/hal-01596483>

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.

archéovision

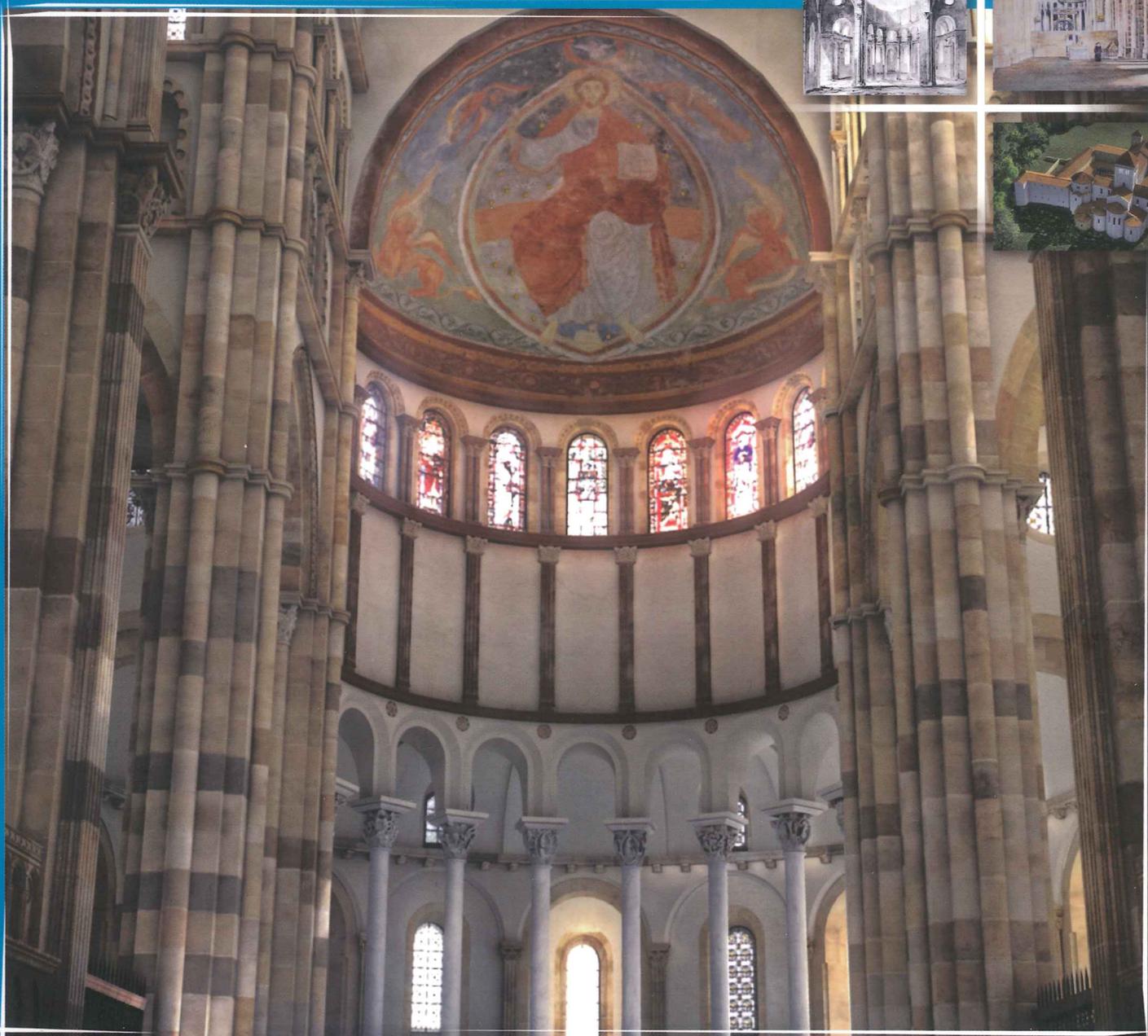
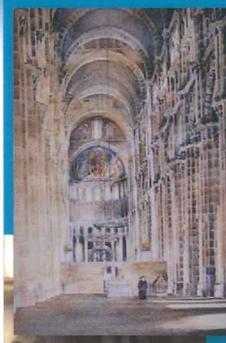
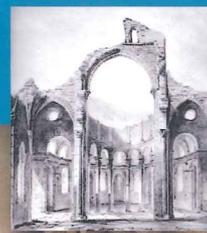


PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE
ACTES DU COLLOQUE INTERNATIONAL

Archeologie/architecture
Ingénierie-Technologie

Arch-I-Tech

2010



Ausonius - UMR 5607
Maison de l'Archéologie
Université de Bordeaux
F - 33607 Pessac cedex
<http://www-ausonius.u-bordeaux3.fr/EditionsAusonius>



Directeur des publications : Olivier Devillers
Secrétaire des publications : Nathalie Tran
Graphisme de couverture : Geneviève Verninas

Arch-I-Tech 2010
Arts et Métiers ParisTech
Centre de Cluny
Rue Porte de Paris
F - 71250 Cluny



Éditeurs scientifiques : Christian Père – Juliette Rollier
Directeur de la publication Arch-I-Tech : Christian Père
Directeur de la collection Archéovision : Robert Vergniew

Imprimerie : Gráficas Calima, S.A.
Avda Candina, s/n
E - 39011 Santander (Espagne)

© AUSONIUS 2011
ISSN : 1771-5911
ISBN : 978-2-35613-047-1

La Rome antique du IV^e siècle p.C. De la maquette de Paul Bigot à la restitution virtuelle de la ville

Sophie Madeleine, Philippe Fleury

ERSAM

Équipe de Recherche Technologique éducation 2003
"Sources Anciennes, Multimédias et publics pluriels"
Maison de la Recherche en Sciences Humaines de Caen
F-14032 Caen Cedex 5
(33).(0)2.31.56.62.38

sophie.madeleine@unicaen.fr – philippe.fleury@unicaen.fr
www.unicaen.fr/rome et www.unicaen.fr/ersam

Résumé : L'Université de Caen Basse-Normandie possède un objet patrimonial de première importance : une maquette en plâtre de la Rome de Constantin, réalisée par l'architecte Paul Bigot au début du XX^e siècle. Autour de cette œuvre d'art, à la convergence de l'archéologie et des sciences du numérique, est né en 1994 le projet de réaliser un double virtuel du "Plan de Rome", le nom "commun" de la maquette de P. Bigot. L'équipe construit donc une maquette virtuelle entièrement interactive de la Ville dans son état du IV^e siècle p.C., maquette dans laquelle l'utilisateur peut circuler librement, entrer à l'intérieur des principaux monuments publics et visiter quelques habitations privées. Le travail comporte deux phases, envisagées d'emblée mais décalées dans la pratique : la restitution virtuelle et la réalité virtuelle. Ces deux utilisations des sciences numériques sont souvent confondues. La communication s'attachera à les distinguer. La restitution virtuelle s'inscrit en fait dans la longue tradition des restitutions archéologiques (cf. les "Envois de Rome" par exemple). L'informatique apporte l'aisance des mises à jour, le décuplement des possibilités de présentation (multimédia, transmédia), l'accès à distance, la gestion des bases de données etc. La réalité virtuelle est une tout autre dimension de l'utilisation des sciences numériques : elle offre la possibilité de s'immerger dans la maquette virtuelle et d'interagir en temps réel avec l'environnement, non seulement pour se déplacer mais aussi pour expérimenter des systèmes mécaniques ou pour accéder à la documentation qui fonde la restitution.

Mots-clés : architecture, urbanisme, Rome antique, réalité virtuelle, visite interactive

Abstract : The University of Caen Basse-Normandie owns a work of primary importance to our cultural heritage: a plaster model of Constantine's Rome made by the architect Paul Bigot at the beginning of the XXth century. A project at the point of convergence of archaeology and digital technology based on this work of art was adopted in 1994 to make a virtual model of the "Plan of Rome", the French name for Bigot's model. The project team is building a fully interactive virtual model of the City as it was in the IVth century ad. The visitor to the virtual model will be able to wander through a full-scale city and enter most of its large public monuments and a few residences. The work is being carried out in two phases, both conceived from the beginning but in practice carried out at different times: a virtual reconstruction and virtual reality. These two uses of digital technology are often confused with each other. This paper will attempt to separate them. The virtual reconstruction follows in fact a long tradition of archaeological reconstructions (cf. "les envois de Rome" for example). Information technology makes updating easy and provides multiple possibilities for presentations (multimedia and transmedia), remote access, database management, etc. Virtual reality presents quite a different dimension in the use of digital technology: it offers the possibility of submersion in the virtual model and interacting in real time with the environment, not only to move about but also to experiment with mechanical systems and access the source materials which made the reconstruction possible.

Keywords : architecture, town planning, Ancient Rome, virtual reality, interactive visit

INTRODUCTION

L'Université de Caen Basse-Normandie possède un objet patrimonial de première importance : une maquette en plâtre de la Rome de Constantin (cf. fig. 1), commencée par l'architecte Paul Bigot en 1900 et sur laquelle il a travaillé toute sa vie¹. Il n'existe que deux autres maquettes comparables² dans le monde : un double de la maquette de P. Bigot qui est conservé aux Musées royaux d'art et d'histoire de Bruxelles et la maquette d'I. Gismondi, conservée au Musée de la civilisation romaine de Rome³. Autour de l'œuvre d'art caennaise est né en 1994 le projet de réaliser un double virtuel du "Plan de Rome", le nom "commun" de la maquette de P. Bigot, avec des objectifs à la fois scientifiques et pédagogiques. L'équipe construit donc une maquette virtuelle entièrement interactive de la Ville dans son état du IV^e siècle p.C. à partir d'une nouvelle analyse des sources anciennes (sources textuelles, archéologiques et iconographiques), maquette dans laquelle l'utilisateur peut circuler librement, entrer à l'intérieur des principaux monuments publics et visiter quelques habitations privées. Plusieurs équipes dans le monde travaillent sur la restitution de la Rome antique (par exemple l'équipe Ausonius à Bordeaux sur la restitution du Grand Cirque⁴, le projet "Virtual Rome" en Italie, sur la question des paysages autour de la via Appia et sur une restitution "collaborative" de la Rome du I^{er} siècle p.C.⁵), mais seules deux équipes restituent la totalité de la Ville de Rome dans son état du IV^e siècle p.C. : "Rome Reborn"⁶ à l'Université de Virginie (USA) et l'équipe "Plan de Rome"⁷ à l'Université de Caen Basse-Normandie. Les deux équipes ont du reste signé un contrat de collaboration de recherche en 2008, qui associe différents partenaires⁸. Il est symbolique de se retrouver ici à Cluny en 2010 pour parler d'un travail qui, à sa naissance en 1994, a utilisé la restitution de la *Maior ecclesia*, plus précisément le film "Mémoires de Pierres"⁹, comme modèle et référence pour rechercher les premiers financements... Le projet caennais comporte deux phases, envisagées d'emblée mais décalées dans la pratique : la restitution virtuelle et la réalité virtuelle. Ce sont deux utilisations (souvent confondues) des sciences numériques que la communication s'attachera à distinguer¹⁰.

1. Royo 2006.

2. Nous entendons par "comparables" des maquettes représentant Rome dans sa globalité, à la même époque, et réalisées scientifiquement.

3. Pavia 2006, Filippi 2007.

4. Peres 2001.

5. Pescarin 2008.

6. Frischer & Dylla 2010.

7. Fleury & Madeleine 2009.

8. <http://www.romereborn.virginia.edu>.

9. Le film "Mémoire de Pierres" a été réalisé en 1992 par trois étudiants de l'ENSAM (dont Christian Père, le responsable du projet Gunzo qui nous reçoit aujourd'hui...), à partir des travaux de l'archéologue Kenneth John Conant et en collaboration avec la société IBM.

10. La communication orale comprenait, en troisième partie,

LA RESTITUTION VIRTUELLE

La restitution virtuelle de la Rome antique s'inscrit dans la longue tradition des restitutions archéologiques de la capitale de l'empire romain. À partir du IV^e siècle p.C., la Rome antique meurt lentement. Elle meurt politiquement en perdant son statut de capitale : Constantinople, Milan, Ravenne la supplantent. Elle meurt religieusement quand les cultes qui la caractérisent sont officiellement interdits par l'empereur Théodose en 380 p.C. Elle meurt physiquement sous l'effet des destructions barbares, sous l'effet du temps et surtout sous l'effet de l'autodestruction. Naît une Rome chrétienne pour laquelle les monuments de la Rome antique sont au mieux objets de récupération au pire objets de pillages ou de désintérêt : le centre historique perd son caractère monumental, les marbres antiques sont réutilisés dans d'autres structures ou transformés en chaux. Paradoxalement, du XII^e au XIV^e siècle, la littérature des *Mirabilia*, guides destinés aux pèlerins chrétiens, fait revivre la Rome païenne mais elle le fait sous forme d'histoires extraordinaires : on raconte qu'un dragon est couché sous le temple de Vesta, qu'autrefois se dressaient sur le Capitole des palais resplendissants d'or et d'argent¹¹. Sur les plans, Rome est ronde comme le monde dont elle est le centre. Les quelques monuments antiques représentés le sont schématiquement et à une place approximative. Le XV^e siècle marque une rupture : à la fin de l'année 1443, l'humaniste italien Flavio Biondo entreprend la rédaction de *Roma Insuperata*, "Rome restaurée", publié en 1446. Il ne s'agit pas de restaurer Rome au sens propre, il s'agit de retrouver, de décrire, de représenter la topographie et l'architecture de Rome. Pour la première fois, ce travail est fait de façon scientifique, en confrontant sources archéologiques et sources textuelles. Flavio Biondo va sur le terrain, il observe, il relève les inscriptions, note les résultats de fouilles fortuites ou volontaires. La description de Rome dans *Roma Insuperata* est uniquement littéraire. Il faudra attendre encore quelques années pour voir apparaître des représentations iconographiques faites dans le même esprit. La carte de Pirro Ligorio, "avec la représentation des monuments antiques que l'on peut encore voir en 1570", est l'une des premières de ce type : malgré son imprécision architecturale et topographique, elle rompt avec la tradition des cartes rondes et fantaisistes, mais il restera bien des progrès à faire et c'est seulement le XIX^e siècle qui verra l'aboutissement iconographique de l'entreprise de Flavio Biondo avec les plans archéologiques de Rodolfo Lanciani¹², les envois de Rome, ces relevés d'architecture antique accompagnés de leur restitution que les pensionnaires de l'académie de France

une visite virtuelle du forum d'Auguste qu'il n'est guère facile de reproduire sur papier, mais qui est visible sur le site www.unicaen.fr/rome onglet "Restitution virtuelle – Les réalisations – Architecture".

11. Moatti 1989, 23.

12. Lanciani 1897.

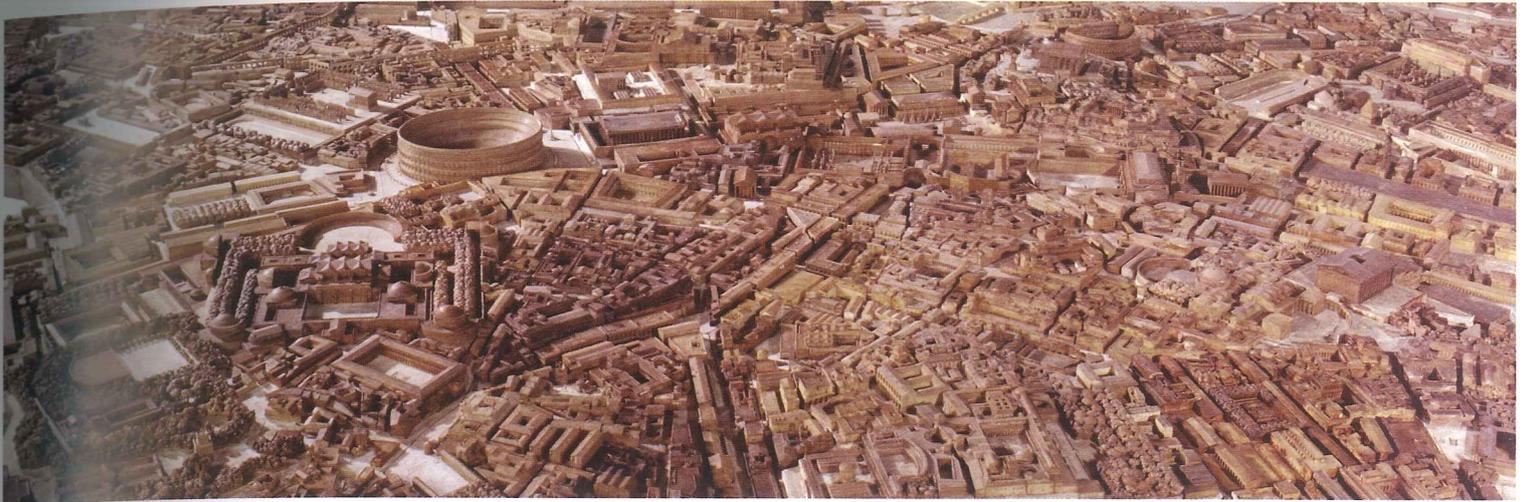


Fig. 1. La maquette de P. Bigot, www.unicaen.fr/rome.

à Rome devaient réglementairement envoyer à Paris¹³. Le xx^e siècle enfin sera celui des deux grandes maquettes de Rome à l'époque de Constantin : la maquette de Paul Bigot (cf. fig. 1) et la maquette d'Italo Gismondi. Ces maquettes sont une forme d'achèvement, la somme des connaissances littéraires, archéologiques et iconographiques accumulées sur la Rome antique depuis la Renaissance. Elles ne marquent cependant pas un point final à la question de la restitution car d'une part les progrès faits dans la compréhension des sources textuelles et dans celle de la topographie de la Rome antique ont rendu obsolètes les deux maquettes sur un certain nombre de points, d'autre part l'avènement de l'informatique graphique dans les années 1980 a ouvert de nouvelles perspectives.

Les sciences du numérique permettent ce que l'on appelle la "restitution virtuelle" et elles apportent essentiellement quatre choses, par rapport aux autres formes de restitution : l'aisance des mises à jour, la multiplication des possibilités de présentation, l'accès à distance et la gestion des bases de données. Les deux maquettes ont été mises à jour du vivant de leur concepteur, celle de P. Bigot jusqu'à la fin des années 30, celle d'I. Gismondi jusqu'en 1973. Depuis elles sont figées, celle de Caen est même classée à l'inventaire des Monuments historiques et elle ne peut être légalement modifiée. Quand bien même ces maquettes seraient-elles modifiables, il est intéressant de conserver l'état des connaissances d'une époque donnée, même si, nous l'avons dit, cet état est aujourd'hui obsolète : le théâtre de Balbus et le cirque Flaminius ne sont pas à la place que leur assignait P. Bigot en fonction des informations archéologiques dont il disposait. Depuis la dernière mise à jour de la maquette d'I. Gismondi, les découvertes et les réinterprétations d'anciennes découvertes se sont multipliées, tant la connaissance de la

topographie romaine est un domaine mouvant¹⁴. La mise à jour d'un modèle virtuel est naturellement plus aisée et plus "économique" que celle d'un modèle physique, mais surtout elle est réversible dans la mesure où les anciennes versions peuvent être stockées de manière à peu près infinie, ce qui n'est pas le cas des maquettes physiques qui occupent un espace important. Le modèle virtuel se prête bien aussi à diverses possibilités de présentations, quant à la nature de l'image (fixe, cf. fig. 2 ou animée, cf. www.unicaen.fr/rome, onglet "Restitutions virtuelles – Réalisations"), à la façon de la présenter (vue intérieure des monuments, cf. fig. 3, vue éclatée des machines..., cf. fig. 4) et il est accessible à distance via des réseaux INTERNET¹⁵. Enfin, les sciences du numérique permettent d'associer au modèle et de gérer d'énormes bases de données multimédias avec les sources textuelles, les sources archéologiques, les sources iconographiques et la bibliographie.

Mais la restitution virtuelle en tant que telle reste limitée dans l'utilisation des technologies numériques. En n'exploitant que l'aspect digitalisation, elle fait certes un grand pas par rapport à la restitution physique, nous venons de le voir, mais elle reste en deçà de la possibilité d'interagir en temps réel avec le modèle : ce que l'on appelle proprement la réalité virtuelle.

LA RÉALITÉ VIRTUELLE

La réalité virtuelle est née dans les années 1980, en même temps que se développait l'informatique graphique. Elle

14. Voir à ce sujet l'excellente étude de Guilhembet 2010.

15. Le site Internet dédié au "Plan de Rome" (www.unicaen.fr/rome pour l'architecture, www.unicaen.fr/ersam pour les machines) a reçu en 2010 environ 200 000 visiteurs différents qui ont consulté 2 000 000 de pages différentes.

13. Pinon & Amprimoy 1988.



Fig. 2. Restitution virtuelle du forum d'Auguste.

repose sur deux concepts fondamentaux : l'immersion et l'interaction. L'immersion est l'opération qui consiste à passer de "l'autre côté du miroir", à entrer dans l'image. Elle est physique quand une interface est utilisée (par exemple un casque 3D), mais elle peut aussi être simplement mentale. L'interactivité est l'opération qui consiste à manipuler ou à transformer l'image en temps réel¹⁶. En ce qui concerne la maquette virtuelle de la Rome antique, l'interaction prend deux formes : l'exploration et la manipulation¹⁷. L'exploration est la visite de la ville par le biais de la navigation dans le modèle virtuel (cela implique des changements d'images dans des temps infinitésimaux puisqu'à chaque pas du visiteur, à chaque mouvement de sa tête, l'image n'est plus la même) ; la manipulation est l'accès aux métadonnées et le test du fonctionnement des machines. Dans le domaine qui nous intéresse ici, la représentation d'un patrimoine disparu

ou ruiné, la réalité virtuelle offre plusieurs intérêts. D'abord, le "visiteur" du modèle n'est pas spectateur : il est acteur. Tandis qu'avec un film précalculé, le visiteur suit un parcours qu'il n'a pas lui-même défini, le mode interactif lui donne la liberté d'aller où il veut, quand il veut. Dans le cas de visites de groupes, c'est le guide qui dispose de cette liberté : en fonction du type de public, de ses centres d'intérêts, des questions posées, il peut adapter son parcours (cf. fig. 5). Le chercheur, de son côté, peut observer les secteurs ou les détails qui le concernent particulièrement. De plus, comme dans notre maquette virtuelle le visiteur ou son avatar¹⁸ se

16. Sur le sujet, voir Burdea & Coiffet 1993, Cadoz 1994, Pimentel & Teixeira 1993.

17. Parès & Parès 2001.

18. L'avatar du visiteur est pour l'instant la seule présence "humaine" dans le modèle caennais. L'utilisateur visite la ville soit avec les yeux de l'avatar (vue subjective), soit en le suivant (vue objective) à quelques mètres. L'intérêt essentiel du personnage est de permettre une meilleure perception des échelles (il est du reste dupliqué en position fixe à des endroits stratégiques). Notre perspective étant essentiellement celle de la connaissance architecturale et topographique, nous n'avons pas peuplé la ville d'autres personnages ; l'investissement en temps humain et en temps machine pour réaliser un environnement humain serait trop important par rapport à l'intérêt scientifique. Mais cette position pourra évoluer dans le temps.



Fig. 3. Vue intérieure de la basilique de Maxence et Constantin.

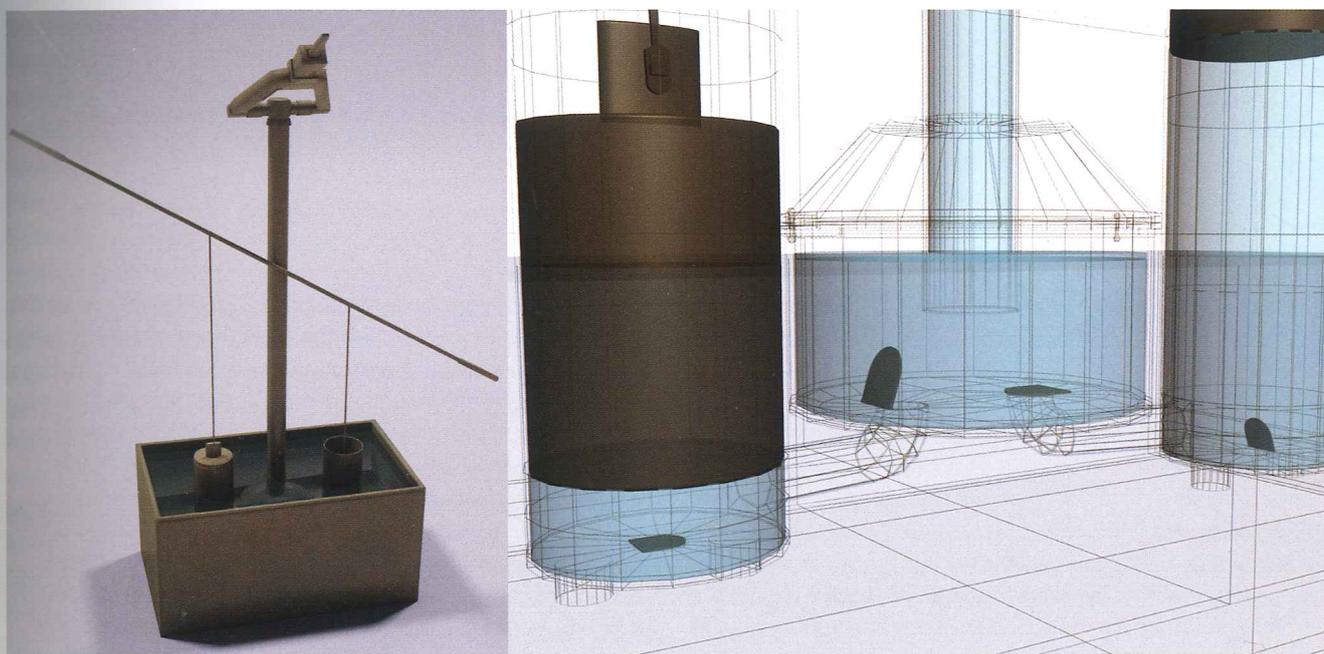


Fig. 4. Vue éclatée de la Pompe à pistons.



Fig. 5. Visites en réalité virtuelle.

déplacent à une vitesse réelle¹⁹, comme il ne peuvent ni voler, ni traverser les murs, le modèle peut être utilisé pour des tests grande nature des déplacements d'un piéton dans la Rome antique, pour calculer par exemple le temps nécessaire pour se rendre du Caelius au Champ de Mars, ou le temps nécessaire à un spectateur pour rejoindre sa place à l'amphithéâtre. Ensuite, les machines ou les systèmes mécaniques peuvent être manipulés en temps réel : la catapulte, par exemple, peut être pointée, bandée et déclenchée par le visiteur lui-même, en manœuvrant les pièces correspondantes grâce à la souris. Enfin, en cliquant sur n'importe quel objet, le visiteur a accès aux sources qui ont permis de le restituer. Cette fonction est particulièrement importante dans un contexte où nous avons

fait le choix d'images "pertinentes"²⁰, c'est-à-dire d'images qui représentent la globalité d'un monument : ce qui est sûr, ce qu'il l'est moins, ce qui est hypothétique. Nous pensons que les images "à trous", que les solutions graphiques qui consistent à matérialiser les degrés de fiabilité en chargeant la représentation elle-même d'éléments critiques (couleurs différentes, grisés, pointillés, lignes seules pour les parties mal ou non informées) ne sont en général ni suffisantes pour une exploitation scientifique, ni parlantes pour une utilisation pédagogique, ni même belles. Il n'empêche que le visiteur doit être informé du degré de confiance qu'il peut accorder à telle ou telle partie de la restitution et l'accès direct et interactif aux métadonnées, mis en place sur notre maquette virtuelle, remplit cette fonction.

19. Le visiteur ou l'avatar peut marcher ou courir, à la vitesse moyenne d'un être humain réel.

20. L'expression est de J.-Cl. Golvin, www.unicaen.fr/cireve/rome/pdf/Cours1.pdf, p. 17.

La configuration caennaise actuelle pour la réalité virtuelle (ordinateurs PC avec de puissantes cartes graphiques pour le hardware, Virtools®²¹ pour le software) a bien entendu ses limites. L'objectif, nous l'avons dit, est une immersion totale, donc une interactivité fluide. Or les contraintes imposées par le logiciel Virtools²² rendent difficile l'affichage en temps réel et en haute qualité de la ville entière. Afin d'optimiser le processus, la lumière est calculée par avance et plaquée avec les textures. Cela permet d'afficher de grands bâtiments de la ville de Rome mais n'est toujours pas compatible avec l'affichage de l'ensemble de la ville à un bon niveau de définition de l'image. Une solution logicielle caennaise a donc été mise en place, issue d'une collaboration entre l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen et l'Université de Caen Basse-Normandie. Le principe fondamental reste le duo 3D Studio Max / Virtools, mais une base de données est intégrée au système, avec laquelle Virtools dialogue²³. Différentes tables permettent de gérer les objets répétés, les objets visibles / invisibles ou les différents niveaux de détail. Les objets répétés (fontaines, immeubles, boutiques, arbres identiques) ne sont chargés qu'une seule fois puis copiés car le temps d'instanciation (temps d'exécution du building block "Object copy") est, sous Virtools, nettement inférieur au temps de chargement d'un fichier (temps d'exécution du building block "Object load"). Les textures de lumière du premier quartier visité et des quartiers limitrophes sont chargées préalablement. À chaque changement de la position du visiteur, les objets non visibles sont déchargés, (cf. fig. 6). Quand cela est nécessaire, les objets sont créés avec plusieurs niveaux de détails (jusqu'à trois niveaux) et le niveau le mieux approprié est choisi en fonction de la distance du visiteur. Le relief est d'abord modélisé sous forme de plateaux (cf. fig. 7) à partir d'un modèle numérique de terrain, ce qui facilite le placement automatique des objets et simplifie le maillage général tout en restant exact scientifiquement. Ensuite les bords des plateaux sont lissés "manuellement". L'utilisateur a ainsi la sensation de circuler dans l'ensemble de la ville modélisée en haute qualité, même si cette ville n'est finalement jamais chargée en totalité dans sa qualité maximale.

CONCLUSION

Voilà donc, pour répondre aux objectifs du colloque, un exemple de convergence entre sciences du numérique et archéologie/architecture. Notre maquette virtuelle est conçue comme un outil supplémentaire. Elle ne rend pas obsolète les autres médias, elle doit apporter un plus. Mais il faut aussi exploiter ce plus. Actuellement le modèle est accessible dans son intégralité sur place à l'Université de Caen Basse-Normandie (avec des moyens de visualisation stéréoscopiques) et partiellement sur Internet²⁴. Dans le futur, nous le rendrons intégralement disponible sur Internet en accès libre et, à Caen, nous poursuivons la mise en place d'un véritable centre de visite virtuelle de la Rome antique. Le but est de donner l'accès des données scientifiques les plus récentes aux antiquisants mais aussi de les partager avec un large public. Au-delà de la création d'images, la visite interactive peut être en effet un bon moyen, à la fois pour partager avec le plus grand nombre l'état des connaissances actuelles et pour expérimenter des hypothèses de restitution en vue de les valider ou de les invalider. Un des plus grands écueils à éviter en termes de restitution virtuelle de sites patrimoniaux est peut-être de distinguer les productions scientifiques (réalisées à partir d'une analyse minutieuse des sources anciennes) des autres productions laissant une place importante à l'imagination. Une image restituée a en effet un impact important sur la perception collective d'un site et est souvent considérée comme une vérité alors qu'elle n'est en fait que le résultat d'hypothèses. Nous attendons donc beaucoup du projet SAVE ("Serving and Archiving Virtual Environments", <http://www3.iath.virginia.edu/save>) développé par B. Frischer aux USA, qui pourrait à cet égard combler les manques : non seulement les restitutions virtuelles recevront un ISSN qui permettra de les citer comme de véritables publications scientifiques, mais en plus les modèles déposés seront revus par les pairs avec commentaires ; en cas de désaccord entre ces derniers et l'équipe qui a déposé le modèle, l'équipe pourra soit justifier ces choix, soit mettre à jour son modèle, soit le retirer. En plus de centraliser et de référencer les productions (avec leurs métadonnées et les articles ou monographies associées), un véritable échange scientifique au niveau mondial devrait voir le jour aussi autour de cette plateforme.

21. www.virttools.com

22. La limitation s'opère sur le chargement de la géométrie (le moteur ne peut afficher qu'un million de polygones en même temps) et des textures (les modèles interactifs les plus lourds affichent 1093 textures en même temps soit 1 Go d'occupation sur la carte graphique, la taille maximum d'une texture étant 1024 x 1024 sur 32 bits).

23. Nicolas Lefèvre, assistant-ingénieur au CIREVE (Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle de l'Université de Caen Basse-Normandie) a conçu la base. Julie Klein, étudiante de l'ENSI Caen, l'a mise en place. Amélie Guérard, étudiante à l'IUT de Saint-Lô l'a en partie implémentée.

24. www.unicaen.fr/rome pour l'architecture et www.unicaen.fr/ersam pour les machines.

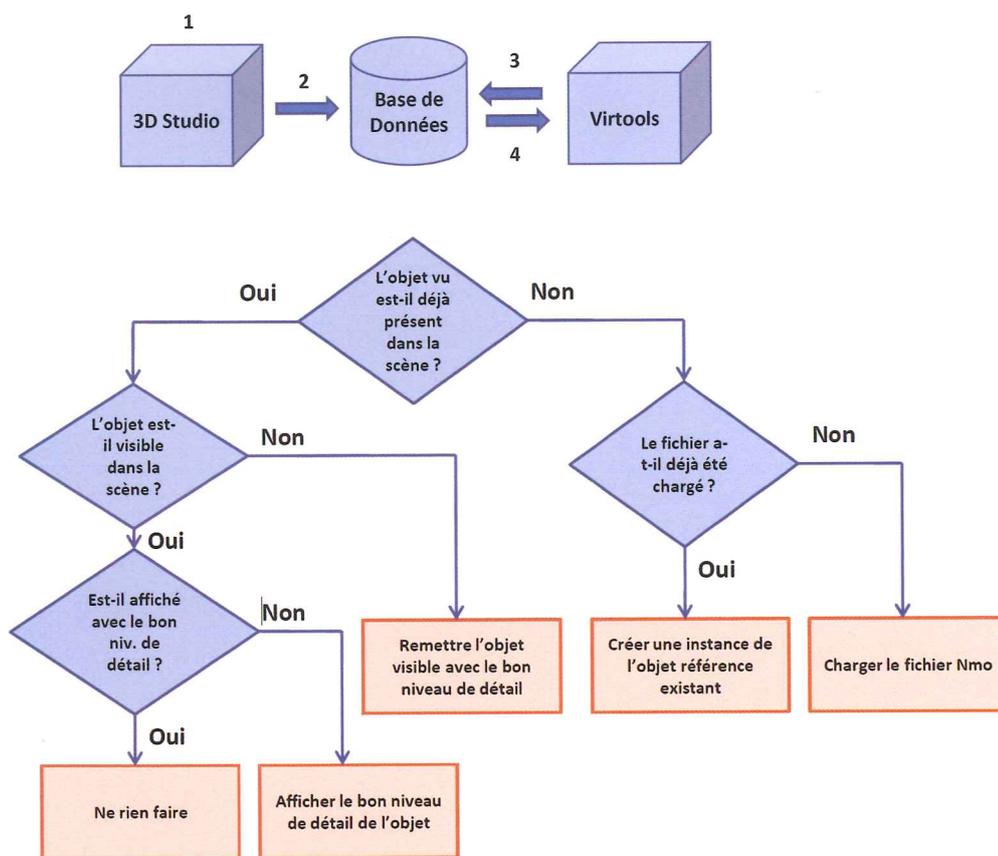


Fig. 6. Le dialogue entre Virtools et la base de données.

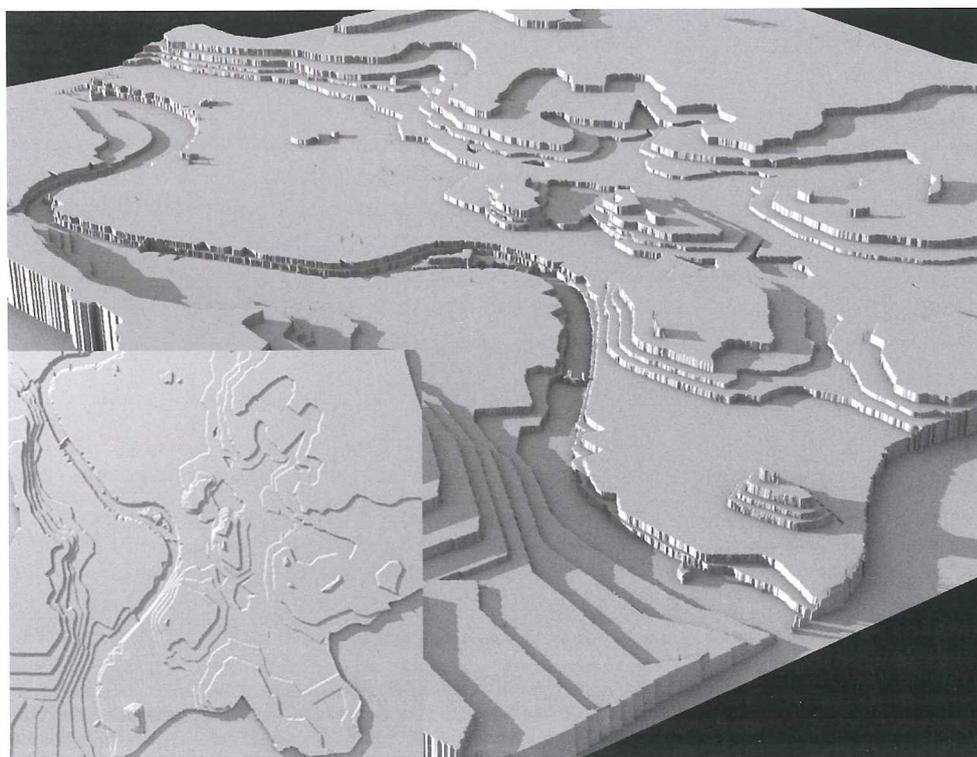


Fig. 7. Le relief de la ville.

Bibliographie

- Burdea, G. et Ph. Coiffet (1993) : *La réalité virtuelle*, Paris.
- Cadoz, C. (1994) : *Les réalités virtuelles*, Paris.
- Filippi, F. éd. (2007) : *Ricostruire l'antico prima del virtuale. Italo Gismondi. Un architetto per l'archeologia (1887-1974)*, Rome.
- Fleury, Ph. et S. Madeleine (2009) : "Interactive Visit of the city of Rome in the fourth century A.D.", in : Frischer et al. 2009, 67-75.
- Frischer, B., J. Webb Crawford, et D. Koller, éd. (2009) : *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Making History Interactive*, 408.
- Frischer, B., K. Dylla, P. Mueller, A. Ulmer et S. Haegler (2009) : "Rome Reborn 2.0: a case study of Virtual City Reconstruction Using Procedural Modeling Technique", in : Frischer et al. 2009, 62-66.
- Frischer, B. et A. Dakouri-Hill (2008) : *Beyond Illustration. 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, Oxford.
- Fuchs, Ph. (2006) : *Le traité de la réalité virtuelle, volume 4 : Les applications de la réalité virtuelle*, 290.
- Golvin, J.-Cl. : *L'image de restitution et la restitution de l'image*, <http://www.unicaen.fr/cireve/rome/pdf/COURS1.pdf>
- Guilhembet, J.-P. (2010) : "De la topographie urbaine à la métropole étendue. Tendances récentes de la recherche sur la Rome antique", *Histoire urbaine*, 29, 181-198.
- Lanciani, R. (1897) : *Ruins and excavations of ancient Rome*, Londres.
- Moatti, C. (1989) : *À la recherche de la Rome antique*, Paris.
- Pavia, C. (2006) : *Roma Antica com'era. Storia et tecnica costruttiva del grande plastic dell'Urbe nel Museo della Civiltà Romana*, Rome.
- Parés, N. et R. Parés (2001) : "Interaction-driven virtual reality application design. A particular case: 'El Ball del Fanalet or Lightpools'", *Presence. Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 2, 236-245.
- Peres, M. (2011) : *Réflexion sur le modèle informatique du Circus Maximus*, Bordeaux.
- Pimentel, K. et K. Texeira (1993) : *Virtual Reality, Through the New Looking Glass*, New York.
- Pinon, P. et F.-X. Amprimoy (1988) : *Les Envois de Rome (1778-1968). Architecture et archéologie*, Rome.
- Raffarin-Dupuis, A. (2005) : *Flavio Biondo, Roma instaurata*, Paris.
- Royo, M. (2006) : *Rome et l'architecte : conception et esthétique du plan-relief de Paul Bigot*, Caen.
- Vergnieux, V. (2006) : "Réalité virtuelle et archéologie", in Fuchs 2006, 229-233.

