

La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques

Mathieu Rocheleau

Résumé

La 3D est employée depuis une vingtaine d'années déjà par les archéologues pour diffuser leur recherche ou pour documenter des sites du patrimoine mondial. Depuis peu, les spécialistes ont également pris acte du potentiel heuristique de cette technologie, lorsqu'elle est utilisée de façon scientifique. De concert avec les innovations technologiques, cette prise de conscience permet d'étendre le champ d'application de la modélisation 3D à d'autres disciplines, notamment l'histoire. L'étude des principes de base liés à cette pratique en sciences historiques permet de constater comment la modélisation 3D peut être envisagée comme une méthode de travail crédible et performante pour le chercheur, lui fournissant des outils inédits pour faire de nouvelles découvertes et émettre des hypothèses non envisageables par les moyens traditionnels. Les nombreux exemples tirés de projets universitaires novateurs et concernant différentes périodes historiques démontrent clairement les nombreux apports que procure la 3D. Il ne reste plus aux chercheurs qu'à sauter dans le train.

Depuis le milieu des années 1990, plusieurs projets ont démontré l'intérêt de la 3D et de la réalité virtuelle en sciences historiques par la reconstitution virtuelle de plusieurs sites archéologiques du patrimoine mondial ou par leur diffusion à l'aide de ces moyens technologiques. Au même moment, des réflexions plus théoriques sont entreprises à propos de ces nouveaux outils qui permettent de diffuser un contenu archéologique ou patrimonial. Il est donc peu étonnant de constater qu'une analyse des vingt dernières années au sujet de l'évolution de la 3D et de la réalité virtuelle en sciences historiques fasse ressortir des principes directeurs essentiellement liés aux deux mêmes domaines, l'archéologie et les études patrimoniales, au point où il est courant aujourd'hui de parler de *virtual archaeology* ou de *virtual heritage*.

Cependant, si les technologies 3D étaient autrefois l'apanage des archéologues et d'autres spécialistes du patrimoine bâti, l'étude de ces

mêmes principes liés à l'utilisation des modèles 3D permet d'envisager comment elles peuvent aujourd'hui être employées également comme un outil catalyseur de connaissance historique. En effet, il est clair que si les modèles 3D étaient à l'origine de simples outils d'aide à la visualisation et à la diffusion de contenu scientifique au grand public, le processus de modélisation tridimensionnelle doit maintenant être considéré comme une méthode qui offre la possibilité de faire de nouvelles découvertes¹. Pour en arriver à cet état de fait, il apparaît pertinent de d'abord mettre en contexte l'utilisation de la 3D en sciences historiques en faisant ressortir les apports classiques de la visualisation et de la modélisation 3D d'un environnement bâti à caractère historique. Les cinq grands principes sur lesquels repose l'enjeu de l'utilisation heuristique² de la 3D seront analysés dans un deuxième temps, ce qui permettra de mettre en relief les qualités inhérentes nécessaires à un modèle 3D et ainsi pouvoir envisager, en dernier lieu, les finalités de la modélisation virtuelle en 3D pour le chercheur en sciences historiques.

L'engouement pour la modélisation 3D

L'engouement actuel à l'égard de la 3D de même que toutes les innovations qui y sont liées – films, télévisions, appareils photo, etc. – peuvent laisser penser que tout cela relève exclusivement du domaine du divertissement. La folie de la 3D s'empare effectivement d'un peu tout le monde et le rythme des avancées technologiques s'accélère pour rendre le tout accessible au plus grand nombre. Cette progression engendre forcément une démocratisation de la technologie qui peut être favorable aux spécialistes intéressés à l'histoire, à l'archéologie ou au patrimoine bâti. Le nombre croissant d'équipes en sciences historiques qui numérisent leurs données en 3D pour organiser et diffuser leur recherche le confirme³.

Cet enthousiasme peut cependant faire oublier que la représentation tridimensionnelle n'est pas une invention contemporaine. En effet, seule son application informatique est nouvelle. La maquette est employée depuis très longtemps pour représenter en 3D des réalisations architecturales de toutes sortes. Il y eut par ailleurs une période très féconde, lors de la Renaissance italienne, pendant laquelle la maquette était fréquemment utilisée à divers niveaux dans le processus de réalisation d'un bâtiment. Elle était notamment employée lors de concours d'architecture – où les comités de sélection comparaient les maquettes entre elles avant de faire leur choix –, pour favoriser la communication sur le chantier entre les acteurs ou encore pour illustrer la précision d'un détail de décoration⁴.

Nous assistons aujourd'hui, en sciences historiques, grâce aux percées des technologies numériques, à une réutilisation de plus en plus courante des modèles 3D pour visualiser des structures, et même des villes entières, au point où certains n'hésitent pas à qualifier cet engouement de révolution topographique⁵. Les maquettes physiques y

jouent parfois encore un rôle fondamental, lors de la modélisation virtuelle de la ville de Rome, par exemple, l'un des projets les plus réputés de restitution 3D. Il s'agit du projet *Rome Reborn*, dont la représentation virtuelle provient d'une numérisation de la maquette d'Italo Gismondi, qui représente la ville éternelle à l'époque de Constantin, au début du IV^e siècle⁶. En ce sens, on le verra, c'est David Staley qui avait raison : la réelle puissance transformatrice des ordinateurs, celle qui pourra modifier profondément l'approche des chercheurs au travail historique réside dans leur capacité graphique – et évocatrice – et non dans les multiples fonctions possibles des traitements de texte⁷. Comme le précise Crandall Shifflett, cette capacité de l'ordinateur répond tout à fait aux objectifs de la recherche historique : « *Now we have the means to exploit the machine's capacity for helping us think by letting us see what we are thinking about, thereby generating new, previously unimagined associations and patterns* »⁸. La modélisation 3D fournit donc sans l'ombre d'un doute l'une de ces possibilités de tirer profit de l'ordinateur dans le sens auquel l'entendent David Staley et Crandall Shifflett. Différents types d'apports peuvent motiver les chercheurs en sciences historiques à entreprendre un travail de modélisation à l'aide de l'ordinateur pour représenter des structures, des bâtiments et des villes en trois dimensions. Certains, plus classiques⁹, apparaissent assez évidents et rejoignent, en partie, ce qui se faisait déjà avec les maquettes.

Une meilleure compréhension par l'organisation des sources premières

L'apport le plus évident de la visualisation 3D est certainement de faciliter la compréhension par la présentation d'informations dans une forme beaucoup plus intuitive à propos de la constitution d'un environnement bâti à un moment précis dans le temps. En fournissant une représentation claire d'une structure, elle permet de faire ressortir des aspects inconnus, d'en préciser quelques-uns, de s'intéresser à d'autres, etc., ce qui facilite son appréciation ou son analyse. Tous n'ont effectivement pas cette habileté à restituer ou reconstituer¹⁰ par l'esprit un environnement 3D, particulièrement les non-spécialistes du sujet qui est représenté, car il faut une sérieuse connaissance scientifique du domaine pour comprendre comment le tout est organisé.

Prenons, par exemple, la restitution virtuelle du petit campement amérindien de Paspahagh en Virginie. Située à quelques kilomètres au nord de Jamestown, cette habitation a été détruite en 1610 par les colons anglais. En parcourant virtuellement le site historique¹¹, il est certainement plus facile de comprendre son organisation que par la lecture d'un compte rendu écrit ou d'un rapport de fouilles. En ce sens, la visualisation en 3D est un excellent moyen pour appréhender et diffuser l'histoire. Toutefois, pour arriver à produire des visualisations 3D évocatrices et historiquement réalistes, il va sans dire qu'un grand travail de recherche doit être effectué. L'étape de la modélisation permet alors d'organiser

toutes les données, de les confronter et de les mettre en relation. La modélisation 3D peut donc très bien être envisagée comme un moyen de documentation de l'existant qui peut ensuite servir de support visuel pour l'analyse. C'est ce qui a été fait pour le campement amérindien de Paspasheg : on a regroupé toutes les sources disponibles, principalement archéologiques, iconographiques et écrites dans ce cas-ci¹².

C'est en visualisant ces données organisées et présentées autrement qu'il est possible, parfois, de comprendre certaines réalités, de les analyser différemment ou d'apercevoir certaines caractéristiques qui sont autrement impossibles à percevoir. Certains comparent même le fait de modéliser en 3D une structure ou un paysage historique, pour pouvoir ensuite les visualiser, à ce que peuvent faire et voir les chercheurs des sciences pures à travers leurs multiples instruments technologiques¹³. Les spécialistes de la santé, de leur côté, peuvent examiner le corps humain grâce aux techniques d'imagerie par résonance magnétique et aux radiographies. Tandis que les économistes modélisent graphiquement des milliers de données ou de transactions pour faire ressortir des tendances lourdes de l'économie qui seraient plus difficiles à discerner. Tous ces dispositifs graphiques et visuels permettent de faire des découvertes. Il en est de même en sciences historiques avec la modélisation en trois dimensions comme le souligne Crandall Shifflett : « *Visualizations provide visual models to see, imagine, get a mental picture of, and analyze what would not otherwise be imagined or ever considered, similar to the role visualizations plays in medical science*¹⁴. »

Examinons un deuxième projet, celui de la restitution virtuelle d'une usine Renault datant de 1920¹⁵. Le croisement des sources, qui sont cette fois-ci majoritairement iconographiques, laissait des zones d'ombre à propos du fonctionnement et de l'organisation de la chaîne d'assemblage que la modélisation 3D a pu pallier. C'est ainsi qu'à partir d'un reportage photographique de 22 photos et d'un article de journal qui contenait également 12 dessins, les chercheurs ont entrepris de modéliser l'organisation du travail et de la chaîne d'assemblage. Ce travail de création 3D a permis de corriger certains faits rapportés par le journal en ce qui concerne l'organisation de la chaîne de montage, à savoir que les opérations sept et huit étaient réalisées au même poste de travail et que l'assemblage se faisait à l'aide de 13 opérations au lieu des 12 attestées par l'article de journal. L'organisation des sources premières à l'aide des techniques de modélisation 3D a donc permis, dans ce cas-ci, de mieux comprendre le travail à la chaîne d'une usine du début du siècle dernier en permettant de visualiser son processus.

Une méthode pour évaluer les sources

L'exemple de l'usine Renault illustre un apport supplémentaire de la modélisation 3D : elle permet d'identifier la qualité, la quantité et la fiabilité des sources mises à la disposition du chercheur. Ce projet concernait surtout la fiabilité des sources. Nous avons constaté que le

modèle 3D a permis de corriger des faits erronés rapportés par un journal, mais plus encore, la modélisation 3D rend compte de ce qui est connu d'un sujet, et surtout de ce qui est inconnu, car elle force le chercheur à s'intéresser à l'ensemble des éléments d'une construction. En effet, un modèle 3D ne laisse qu'une seule possibilité au chercheur et c'est de l'envisager dans sa totalité. Il ne lui est pas possible de passer sous silence des sections ou des zones plus difficiles d'interprétation. S'il le fait, il indique par le fait même son ignorance ou le manque de sources à propos de cet aspect précis. Ce n'est pas un défaut en soi – nous verrons dans la section concernant la représentation de l'incertitude qu'il existe certaines possibilités pour pallier ce problème –, mais il reste que la procédure de modélisation exige de considérer chacun des aspects du sujet à l'étude.

Ainsi, en organisant les données disponibles dans un modèle 3D, le chercheur peut mieux juger de l'avancement des connaissances à propos d'un bâtiment ou d'une ville. Autrement dit, un modèle 3D peut tenir lieu de résumé de la connaissance sur un sujet et constituer une excellente synthèse de ce qui est connu et inconnu. L'un des objectifs du projet *Rome Reborn* est justement de se servir du modèle 3D comme aide-mémoire et de visualiser au fur et à mesure les hypothèses et les réflexions qui animent les chercheurs. C'est pourquoi le modèle est constitué de deux types d'objets 3D : ceux pour lesquels de l'information est disponible et qui ont été reconstruits virtuellement avec le plus de détails possible selon les différentes sources historiques et archéologiques (265 bâtiments), et les autres qui ne sont qu'une approximation causée par l'insuffisance de sources ou le non-traitement de celles-ci (6 735 bâtiments)¹⁶. La mise en commun des sources permet donc d'apprécier le travail parcouru sur un sujet précis, mais elle peut aussi offrir quelques pistes de recherche inattendues.

La mise en évidence de propriétés inattendues

Enfin, le résultat d'une modélisation 3D peut mettre en évidence des caractéristiques ou des propriétés non attendues ou non anticipées lors de l'élaboration d'un projet. En d'autres mots, un modèle 3D est souvent créé pour une raison précise alors que certains aspects non envisagés émergent de façon fortuite.

Le projet anglais *Theatron* l'illustre bien¹⁷. L'objectif des scientifiques était de restituer virtuellement plusieurs théâtres d'époques différentes dans le but d'avoir une meilleure compréhension du jeu des acteurs, des pièces de théâtre et de l'agencement de l'espace. Le résultat réservait quelques surprises aux chercheurs, particulièrement en ce qui concerne l'odéon de Périclès à Athènes, un édifice qui pouvait contenir 3 000 personnes. La modélisation a en effet permis de constater que le nombre élevé de colonnes pour supporter l'édifice – 81 au total, avec neuf rangées de neuf colonnes –, de même que leur disposition, empêchait plus de 40 % des spectateurs d'apercevoir la scène à l'avant. Pour avoir la

meilleure vue sur la scène, en se déplaçant dans le modèle virtuel, il est nécessaire de s'asseoir sur les poutres du plafond. Les chercheurs ont donc émis l'hypothèse que les Athéniens de l'époque ont voulu mettre l'accent sur le spectacle et l'admiration que pouvait susciter l'édifice en soi, et ce, au détriment de l'appréciation du spectacle lui-même¹⁸. De toute évidence, la vue de la scène n'était pas une priorité, ce qui peut inciter les chercheurs à fouiller d'autres facettes de l'expérience théâtrale au moyen du modèle 3D, comme la distribution sonore, l'éclairage ou l'ambiance générale. Moins étudiés aujourd'hui, ces aspects avaient peut-être plus d'importance pour les spectateurs de l'époque. Sans la modélisation 3D, il nous apparaît évident que les chercheurs n'auraient pu avoir cette donnée précise pour amorcer une nouvelle réflexion concernant l'odéon de Périclès.

Transcender les apports classiques

Comme nous l'avons constaté par les divers exemples cités ci-dessus, la pratique de modélisation tridimensionnelle ne s'applique pas qu'à l'Antiquité. Le fait que la grande majorité des initiatives en 3D soient entreprises par des spécialistes de cette période s'explique en partie par le caractère patrimonial des vestiges antiques. Néanmoins, un aspect relie la plupart des projets présentés ici : ils concernent tous un moment dans l'histoire pour lequel nous n'avons pas beaucoup de sources et très peu de représentations visuelles – voire aucune – qui permettrait d'avoir une vue d'ensemble du passé envisagé¹⁹. La visualisation et la modélisation 3D, telles qu'analysées ici, ne semblent donc attrayantes que pour ce qui n'existe plus, ainsi que le souligne Crandall Shifflett : « *Ironically, the power and utility of visualization increases inversely with the absence of historical images. Virtual reality recreations have enormous potential to permit historians to recapture and reconceive lost worlds of the more distant, visually anemic past*²⁰. »

Une question mérite alors d'être posée : pourquoi un chercheur voudrait-il recréer virtuellement des environnements historiques pour lesquels il dispose déjà d'une quantité suffisante de sources et de représentations visuelles ? Nous pensons que la virtualisation d'un environnement historique peut apporter beaucoup plus au point de vue scientifique pour un chercheur en sciences historiques et servir de catalyseur de connaissances à un point tel qu'elle devient pertinente pour tout type de structure du passé, même celles pour lesquelles il y a abondance de sources.

Mais pour en arriver à bien exploiter les capacités virtuelles des modèles 3D, il faut, à notre avis, parvenir à développer des restitutions virtuelles que nous pouvons qualifier de scientifiques. Par scientifique, nous entendons un modèle 3D qui résulte d'un programme de recherche conduit de manière traditionnelle : accessibilité aux sources employées, confrontation de ces dernières, explication des méthodes utilisées et du processus pour en arriver à la modélisation finale, etc. En clair, tout ce

qui permet au chercheur de comprendre le raisonnement derrière la réalisation d'un modèle (et qui peut se comparer à l'appareillage critique d'un texte). Tout le contraire d'un modèle créé par un studio multimédia dont il serait impossible de valider l'authenticité historique parce que le processus décisionnel de restitution n'est pas documenté.

Avant d'en arriver aux finalités d'un modèle 3D et d'examiner comment ce dernier peut servir d'objet d'étude, il est essentiel d'étudier les principes de la modélisation 3D sur lesquels repose son emploi scientifique. Cela permettra de constater qu'ils sont la pierre d'assise pour l'utilisation heuristique des modèles 3D.

Les principes directeurs de la modélisation 3D en sciences historiques

Les principes abordés ici sont, sommairement, les thèmes fondamentaux qui ont animé les spécialistes de tous les domaines scientifiques – historiens, archéologues, informaticiens, graphistes, etc. – impliqués dans la restitution virtuelle de structures ou bâtiments à caractère historique ou du patrimoine culturel. Ces lignes directrices dictent en quelque sorte les façons de faire qui ont été adoptées ou les bonnes pratiques qui devraient l'être. Ils fournissent un cadre de production du matériel 3D qui permet de considérer l'utilisation de la modélisation 3D comme une méthode de travail sérieuse et crédible en sciences historiques. Cinq principes essentiels retiennent notre attention: le réalisme, la transparence, l'incertitude, la pérennité et les standards internationaux.

Le réalisme

Le réalisme est le thème le plus ancien et, dans une certaine mesure, le plus évident²¹. Cette course effrénée vers le réalisme visuel provient, en partie, de l'objectif initial des restitutions et des reconstitutions virtuelles, qui a été la diffusion de l'histoire pour le grand public et la volonté de faire voir le passé.

Toutefois, il faut distinguer le réalisme de l'authenticité historique, car si un modèle 3D ou un environnement virtuel peut contenir autant de détails que possible, en revanche rien ne garantit sa fidélité historique ou son objectivité. Une reconstitution virtuelle d'un bâtiment à partir de vestiges ou d'autres sources – écrites ou iconographiques – ne reste qu'une simple interprétation, et ce, peu importe la quantité et la qualité desdites sources. C'est cette interprétation qui importe pour le chercheur, et non l'effort de ressemblance exacte d'une représentation 3D avec la réalité du passé. Par ailleurs, pour poursuivre le parallèle des maquettes, dans son traité sur l'architecture, *De re oedificatoria*, Leon Batista Alberti, un humaniste de la Renaissance, recommandait déjà, au milieu du xv^e siècle, «l'utilisation de la maquette sans détails de décoration pour comprendre l'organisation d'un bâtiment avant sa réalisation ou encore pour avoir une idée claire du coût des matériaux

nécessaires en considérant les dimensions, la forme ainsi que le nombre des parties qu'elle donne à voir»²².

Enfin, l'importance accordée au réalisme peut aussi avoir tendance à confiner le modèle ou l'environnement 3D à une fin en soi. Dans cette optique, dès lors que le modèle est terminé, que beaucoup d'efforts ont été investis à choisir les textures et les autres aspects visuels, le travail est trop souvent considéré, à tort, comme terminé et immuable. Or, et il s'agit là d'une des transformations majeures des dernières années, on se rend compte que la réalisation d'un environnement 3D historique n'est que le début du processus. Les outils numériques permettent d'aller bien au-delà de cette conception de finalité du travail. Pour ce faire, quelques aspects ou critères doivent être respectés, notamment en lien avec la transparence, ce principe essentiel de la crédibilité scientifique.

La transparence

Vers la fin des années 1990, lorsque des chercheurs universitaires ont commencé à s'intéresser aux modélisations virtuelles en 3D pour leur travail, l'objectif principal est devenu, avec raison, la crédibilité scientifique du procédé de restitution virtuelle²³. Ce principe a rapidement rejoint une des considérations qui, depuis longtemps, anime une grande partie des chercheurs des sciences historiques : la capacité de pouvoir consulter les sources de tout type de travail pour mieux comprendre le raisonnement d'un auteur et attester de sa rigueur²⁴.

Ce concept, transposé dans le monde des technologies, se nomme la transparence. Cela consiste à rendre les étapes du processus de création d'un modèle 3D accessibles par l'intermédiaire de ce que nous appelons des métadonnées et des paradonnées²⁵. Expliqué brièvement, il s'agit de documenter à partir de quelles sources un modèle 3D a été créé et de préciser les choix d'interprétation qui ont été faits. Pour le bien de la recherche, il est en effet primordial de connaître comment un modèle 3D a été créé afin qu'il puisse être évalué en toute connaissance de cause par les pairs, comme le sont les travaux écrits de tous les chercheurs universitaires par l'entremise de l'apparat critique, où les sources sont citées et la méthodologie expliquée. Tout cela dans le but de pouvoir stimuler la critique entre les pairs, de bien faire évoluer les modèles dans le temps et d'ainsi obtenir un réel impact sur la connaissance scientifique. Le concept semble bien simple aux yeux de chercheurs aguerris, mais ce n'est malheureusement pas un comportement qui est largement adopté²⁶. Il n'est pas rare, en effet, de trouver d'attrayants modèles 3D qui sont inexploitablement dans un cadre universitaire, car il est impossible de les valider²⁷.

Enfin, en expliquant les choix d'interprétation, il est aussi possible de montrer visuellement plusieurs choix de restitution, que deux options peuvent être envisageables, ce qui est aussi une façon de souligner l'incertitude de la démarche de la création virtuelle. C'est l'attitude

qu'ont adoptée les chercheurs de l'*University of Arkansas* pour la restitution du village amérindien de Nodena, situé dans la vallée du Mississippi, où l'on peut voir deux restitutions virtuelles : l'une avec et l'autre sans palissade²⁸. Ce choix s'explique facilement par le fait que les sources archéologiques n'ont pas encore mis au jour les traces d'une telle palissade alors que les sources écrites décrivent le village à la fois avec et sans cette palissade. Le travail explique tous les choix effectués, en fonction des sources disponibles. Voilà un bon exemple de transparence encore trop rarement rencontré et qui permet de saisir un autre principe d'importance lors du processus de reconstitution tridimensionnelle : la représentation de l'incertitude.

La représentation de l'incertitude

De la couleur à l'emplacement, en passant par la forme d'un objet, plusieurs aspects d'un lieu restitué peuvent en effet poser problème aux chercheurs, faute de sources sur lesquelles s'appuyer. Le problème de l'incertitude²⁹, dans son acception la plus large, concerne l'ensemble des modèles 3D virtuels, car même le scientifique le plus aguerri ne peut être absolument certain que ce qu'il réalise ou construit reproduit parfaitement l'ancienne réalité. Faire état des incertitudes entourant la restitution renforce ainsi la transparence et exprime une forme d'honnêteté intellectuelle.

Le modèle, on l'a vu, ne reste qu'une interprétation. La difficulté réside surtout dans la capacité à transmettre cet état de fait, car peu importe le moyen employé ou les mises en garde faites envers ceux qui explorent un modèle 3D, il semble bien que les usagers oublient que ce qu'ils visitent ou regardent n'est qu'une représentation partielle de ce que fut la réalité et une tentative pour faire sens historiquement, tel que l'explique Diane Favro : « *viewers fall back on an evaluation of the urban recreations as images rather than as conveyers of historical meaning* »³⁰. Par exemple, au sujet du modèle 3D du Colisée intégré au projet *Rome Reborn*, les chercheurs relatent que, lors d'évaluations, le public et les scientifiques ne discutaient pas en priorité de l'authenticité du modèle ou de ses qualités historiques. Ils comparaient plutôt l'aspect esthétique du modèle avec ce qu'ils avaient vu dans le film *Gladiateur*, alors que le modèle qu'ils avaient sous les yeux était sans aucun doute celui qui se rapprochait le plus du passé tel qu'observé par les antiques visiteurs du Colisée³¹.

Peut-être la nature du média inhibe-t-elle la vigilance nécessaire pour rester critique vis-à-vis d'un modèle 3D ? Il devrait pourtant en être autrement. Les éléments d'incertitude d'une restitution virtuelle sont en effet beaucoup plus marqués et présents que, par exemple, dans un livre, car il y a nécessairement plus d'éléments à prendre en compte dans la création 3D que dans un texte. Quelques pistes ont donc été envisagées pour représenter des aspects hypothétiques dans des restitutions virtuelles afin de distinguer le modèle de la réalité vers laquelle il tend.

La première façon, qui est la plus répandue, est d'avoir recours à la transparence. L'idée consiste à appliquer différents degrés de transparence selon le niveau de certitude : ainsi, plus une structure est opaque, plus l'utilisateur est assuré de l'authenticité historique de ce qu'il a sous les yeux. C'est ainsi que fonctionne notamment le *Virtual Museum of the Ancient via Flaminia*³², où il est possible de parcourir virtuellement la Villa de Livia, l'ancienne propriété de la famille de la femme de l'empereur romain Auguste. Dans cette reconstitution, tout ce qui est assuré historiquement, les vestiges au sol, sont d'une couleur opaque, et tout ce qui est en élévation est présenté en transparence, car ce ne sont que de simples hypothèses de restitution³³.

La deuxième méthode illustre aussi clairement les aspects hypothétiques d'une restitution, mais aide aussi à nuancer le niveau de réalisme. Elle consiste à mélanger les techniques de représentation en tempérant le degré de réalisme à l'aide d'esquisses pour démontrer que l'ensemble de la scène n'a pas fait l'objet d'investigations et que, par conséquent, une grande partie est pratiquement inconnue ou incertaine. Diane Favro pense, en plus, que « *such depictions reinforce the conceptualization of virtuals models as laboratories for experiments, stressing the scientific basis of the re-creations above the artistic* »³⁴. Cette technique peut être réalisée de différentes façons : l'idée est de jouer de prudence avec des représentations épurées qui contrasteront avec les riches textures et l'aspect réel du reste de la restitution. Tout cela aide grandement à rappeler à l'utilisateur que ce qu'il voit n'est qu'une représentation, une interprétation, et que plusieurs aspects sont, par le fait même, incertains.

La pérennité des modèles 3D

Ces trois premiers principes sont d'importants critères pour que les modèles 3D puissent se voir attribuer un rôle important en sciences historiques. Toutefois, pour qu'ils aient un réel impact, les modèles 3D doivent également être pérennes, comme les articles scientifiques d'aujourd'hui ou les maquettes de l'époque. Il est en effet primordial de prévoir la sauvegarde à long terme de ces réalisations virtuelles, au même titre que n'importe quel autre patrimoine historique, comme le demande notamment la Charte de l'UNESCO sur la conservation du patrimoine numérique³⁵. Serait-il envisageable d'écrire un ouvrage scientifique tout en sachant qu'un grand risque existe de perdre tout le travail après une dizaine d'années ? Tout serait continuellement à refaire et il n'y aurait aucun avancement dans la connaissance. Robert Vergnien spécifie bien qu'« il y a urgence. De nombreux fichiers ont déjà disparu, or de très nombreux fichiers sont créés chaque année impliquant souvent des financements publics »³⁶.

Cela explique l'émergence de quelques projets de sauvegarde de modèles en trois dimensions : le projet américain *SAVE: Serving and Archiving Virtual Environments*³⁷, qui consiste à fournir un cadre

scientifique pour l'entreposage de modèles 3D et la critique entre les pairs; et son homologue français *Archéogrid*³⁸, le conservatoire National de données 3D de la Plate-Forme technologique 3D de l'Université de Bordeaux III (PFT3D), en France³⁹.

La question de la préservation est d'une importance capitale, non seulement pour le principe, primordial, de sauvegarder le travail qui a été fait, ce qui est noble en soi, mais aussi pour le réinvestissement et la réutilisation des travaux à long terme. Une des façons astucieuses pour financer ce genre de projets est en effet de s'en servir pour plusieurs types de diffusions, sur différentes plateformes, pour ainsi en maximiser le cycle de vie. C'est ainsi que fonctionnent les chercheurs de la PTF3D, qui est sans contredit un bon exemple de maximisation et de rentabilisation de projets 3D. Soumis à l'usage ultérieur de programmes ludiques ou éducatifs – films documentaires, musées, etc. – les projets à vocation scientifique de cet institut sont en effet diffusés à un plus large public et financés en partie par cette voie.

Les standards internationaux et les méthodes de travail

Enfin, il devient de plus en plus courant de suivre des standards internationaux et d'utiliser une méthode dite scientifique pour la création d'un modèle 3D. Il s'agit simplement de mettre en pratique les principes que nous venons d'évoquer. Quelques initiatives internationales proposent leurs standards et leur méthode de travail qui permettent d'encadrer la création de modèles 3D numériques à caractère historique et patrimonial.

En lien avec le patrimoine culturel, la plus importante est certainement la *London Charter*⁴⁰, qui est non pas l'aboutissement d'autres chartes élaborées par le Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS)⁴¹, mais plutôt leur pendant scientifique élaboré en grande partie par le milieu universitaire. Deux chartes de l'ICOMOS sont tout de même significatives en ce qui concerne la visualisation 3D : le *Document Nara sur l'authenticité*⁴², créé en 1994, et surtout l'*ICOMOS Ename Charter* de 2007⁴³, qui concerne l'interprétation et la présentation des sites culturels et patrimoniaux, et qui présente des principes directeurs à propos notamment de la transparence et de l'authenticité.

Revenons à la *London Charter*, qui concerne spécifiquement *the computer-based visualisation of cultural heritage*, comme l'indique son intitulé complet. Élaborée en 2006, et mise à jour depuis ce temps, elle a été réalisée par un regroupement multidisciplinaire de chercheurs pour lesquels il était important d'établir des lignes directrices, à travers six principes généraux, à propos de l'utilisation scientifique de la modélisation et de la visualisation 3D. Ce sont des principes qui soulignent les éléments essentiels d'une modélisation 3D pour que le résultat final soit rigoureux, crédible et transparent, pour que le modèle puisse jouir d'une reconnaissance par les pairs et ainsi être évalué et réutilisé en toute connaissance de cause.

Le document propose donc une base de travail pour assurer l'intégrité du travail réalisé en trois dimensions dans le vaste domaine des arts et des sciences humaines. Comme spécifié dans les objectifs de la *London Charter*, ce sont des principes qui sont déjà connus de tous et que nous avons justement eu l'occasion d'évoquer ici. Toutefois, comme ces lignes directrices sont rarement appliquées concrètement, il devient important d'en faire la promotion, comme il est spécifié dans l'introduction de la charte. De plus, cette dernière n'est pas orientée vers une discipline précise et tend plutôt à s'appliquer à l'ensemble des domaines des arts et des sciences humaines (principe 1). C'est pourquoi la *London Charter* spécifie que « *specialist subject communities will need to develop more detailed principles, standards, recommendations and guidelines to ensure that use of 3D visualisation coheres with the aims, objectives and methods of their domain* »⁴⁴. Il s'avère donc aussi nécessaire de regarder du côté de l'archéologie et de l'histoire afin de voir s'il existe des méthodes propres aux sciences historiques pour faire de la recherche à l'aide de la 3D.

Ce sont des archéologues espagnols qui ont pris l'initiative de créer une charte propre à leur domaine de recherche. Ils profitèrent de l'organisation, en 2009, du premier congrès international à propos de l'archéologie virtuelle en sol espagnol pour proposer de diriger une réflexion qui aboutira éventuellement à la *Carta de Sevilla*⁴⁵. Bien qu'elle soit toujours en cours d'élaboration – elle devrait être finalisée en 2011 – cela n'empêche pas un des partenaires de la mise en œuvre de la charte, la PFT3D, de déjà s'intéresser aux conditions de scientificité et d'innovation de la recherche par modélisation 3D. En effet, la PFT3D répond déjà, dans le domaine archéologique, aux objectifs fixés par la *London Charter* et la *Carta de Sevilla*. Dans ses recherches, la 3D n'est pas appliquée ou réalisée seulement pour illustrer le passé ou diffuser la connaissance, mais bien pour faire de la recherche et mieux connaître les civilisations anciennes par l'étude d'un bâtiment ou d'un objet en 3D. Conformément, cette approche accorde beaucoup d'importance à la question des sources, ce qui confère une pleine crédibilité scientifique à leur méthode et au produit qui en résulte⁴⁶.

En histoire, aucune méthode n'a été développée satisfaisant spécifiquement les besoins des historiens. Seuls quelques projets montrent la pertinence de l'utilisation de ces technologies, comme celui de l'usine Renault présenté ci-dessus⁴⁷. Les historiens doivent plutôt s'approprier et adapter les méthodes des autres disciplines plus avant-gardistes en ce domaine, comme l'archéologie. À nos yeux, il apparaît souhaitable d'en développer une, de répondre, comme les archéologues l'ont fait, à la demande des instigateurs de la *London Charter*, et de créer un guide d'application – *Implementation Guidelines* – de cette charte spécifiquement pour les historiens. À notre avis, ce guide serait d'autant plus le bienvenu s'il était accompagné d'exemples concrets venant illustrer non seulement la bonne conduite à suivre, mais aussi les apports possibles de la 3D en ce domaine.

Modélisation 3D virtuelle : pour quelles finalités ?

Maintenant que nous avons vu les principes qui guident la pratique de la modélisation 3D, quelles peuvent en être les finalités ? Rappelons que nous avons spécifié que pour transcender les apports classiques déjà identifiés, nous avons besoin de modèles 3D dits scientifiques qui répondent à certains critères de qualité. En respectant ces critères, il devient possible de se diriger vers une utilisation heuristique des modèles 3D, c'est-à-dire vers des modèles qui contribuent à faire de nouvelles découvertes autres que ce que le modèle offre en soi en tant que représentation visuelle ou outil pour organiser les sources premières. Par sa constitution scientifique, le modèle 3D a le potentiel de devenir un objet d'étude en lui-même, une source d'histoire qui, à l'instar de toute source historique, peut soutenir le regard critique du scientifique.

Nous avons également écrit précédemment que les environnements 3D les plus souvent recréés correspondent à ceux au sujet desquels nous détenons le moins de renseignements ou qui proviennent d'une période très éloignée⁴⁸. Toutefois, la création virtuelle pourrait revêtir un intérêt majeur, peu importe les paramètres d'un projet. La connaissance de tout type d'environnement, même les plus documentés, même les plus contemporains, est en effet susceptible de bénéficier de l'apport heuristique des modèles 3D.

C'est ici que l'historien peut entrer en jeu. Certes, c'est une chose de construire un modèle 3D historique à haute valeur scientifique, et la tâche revient, d'après nous, à l'archéologue, ou du moins, c'est à lui de l'entreprendre si l'on a à faire à des vestiges archéologiques. Or, il existe d'énormes possibilités pour l'historien qui désire exploiter ces modèles pour en retirer de nouvelles connaissances sur le fonctionnement des civilisations passées. Il reste toutefois à le démontrer de manière rigoureuse.

C'est aussi ce qui anime aujourd'hui une partie de la communauté scientifique intéressée par la 3D. Plusieurs s'interrogent en effet sur le potentiel heuristique de toutes les données 3D. Il devient, à notre avis, primordial de répondre à ces interrogations et de fournir des pistes de réponses pour assurer une utilisation maximale de tout ce matériel virtuel qui croît à un rythme soutenu. Toutes ces données numérisées à grands frais pour des fins de préservation, de documentation ou de diffusion risquent de se retrouver entassées dans des disques durs sans qu'elles aient été exploitées à leur maximum ou à leur juste valeur. C'est une des préoccupations majeures qui sont ressorties du dernier *Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST)*⁴⁹. Heinz Rùther y soulignait notamment la difficulté de s'associer à des archéologues et à des historiens pour exploiter à des fins de recherche les données 3D créées pour le patrimoine⁵⁰.

Il nous apparaît donc important de mettre de l'avant quelques projets novateurs qui tirent profit du potentiel heuristique de la 3D et qui indiquent des pistes d'exploitation possibles, pour les modèles 3D virtuels d'environnement bâti, pour ainsi stimuler leur emploi et encourager la poursuite du travail sur le terrain pour la collecte de données tridimensionnelles.

Formation d'hypothèses et de questions de recherche grâce à des simulations

Un apport de la modélisation 3D, qui se concrétise actuellement, consiste à exploiter tout le potentiel de sa virtualité pour faciliter la formation d'hypothèses et de nouvelles questions de recherche, non envisageables avec les modes traditionnels de recherche, principalement grâce à des simulations.

Les simulations dans un environnement virtuel 3D scientifique permettent, en quelque sorte, de faire des voyages dans le temps et de faire des études empiriques à propos d'une réalité matérielle qui n'existe plus dans son ensemble⁵¹. Comme le souligne Robert Vergnieux, il s'agit d'analyser son fonctionnement, un peu comme les physiciens le font avec d'autres types de modèles physiques: « toutes proportions gardées, les modèles numériques 3D du patrimoine sont un peu comme les modèles au sens des physiciens »⁵². Si les physiciens peuvent mesurer la résistance d'une structure à la houle ou aux vents ou encore l'énergie dégagée par un corps lors d'une réaction bien précise, pourquoi ne pas tenter de mieux saisir l'impact d'aspects moins tangibles à l'aide des modèles virtuels, comme le son et la lumière, sur l'organisation de l'espace et les modes de vie des civilisations passées? Tel est notamment l'objectif principal du *Virtual World Heritage Laboratory*: « *The focus of our investigations, as is suggested by the phrase "Virtual World" – is the metaverse and how it can make possible experiences and experiments that – short of time travel – would otherwise not be possible*⁵³. »

Néanmoins, il importe de préciser que « le but de la simulation informatique n'est pas *a priori* de représenter un événement concret, empiriquement avéré et vérifiable: le but de la simulation est d'abord et avant tout de formaliser une ou des hypothèses et d'en tester la validité en modifiant les valeurs de certaines variables »⁵⁴. Ainsi, les simulations permettent à quiconque s'intéresse à l'histoire de mieux envisager les sociétés humaines qui ont vécu dans ces environnements virtuels, ce qui est le travail de tout chercheur en sciences historiques.

L'architecture romaine sous (ré)investigation

Le potentiel heuristique de la modélisation 3D se confirme dans la restitution virtuelle du *Circus Maximus* de Rome, où se déroulaient les fameuses courses de chars. Après huit ans de travaux en séminaire regroupant plusieurs experts provenant de divers horizons⁵⁵, le projet en est arrivé à un modèle scientifiquement valable aux yeux de tous. Les

chercheurs se sont aperçus, en se rapprochant d'un modèle scientifique valable, qu'il leur était possible de mieux comprendre le déroulement d'une course, en étudiant spécifiquement, par exemple, la position de l'empereur ou des juges dans le cirque. Il devenait aussi possible de créer des simulations sonores réalistes à partir de l'endroit où se trouvait l'empereur, de sorte qu'il est maintenant possible d'affirmer que l'empereur pouvait, sans artifice amplificateur, communiquer avec le vainqueur à la fin d'une course. S'ils ne peuvent assurer qu'il le faisait, les chercheurs savent désormais qu'il était possible de le faire⁵⁶.

Autre exemple probant, celui du Colisée de Rome. Plusieurs archéologues ont émis différentes hypothèses à propos du nombre de spectateurs qui pouvaient s'y entasser, ces résultats variant de 40 000 à 73 000 spectateurs⁵⁷. À l'aide d'un modèle 3D regroupant l'ensemble de la connaissance sur le bâtiment, il a été possible de le soumettre à une simulation et de le remplir d'avatars afin d'avancer une hypothèse plus rigoureuse. Les chercheurs ont alors pu préciser que de 48 000 à 50 000 Romains pouvaient prendre place dans le Colisée⁵⁸.

Grâce à la même simulation, en plus de prouver qu'il était impossible d'y asseoir autant de gens que le soutenaient certaines des études antérieures, les chercheurs ont réfuté l'idée généralement admise que le Colisée était un édifice exemplaire en ce qui concerne les déplacements d'une foule nombreuse. La simulation virtuelle des déplacements a démontré qu'il se créait, à certains endroits, et surtout pour les niveaux supérieurs, d'importants bouchons de circulation⁵⁹.

Comme le spécifient les auteurs, cette étude sur le Colisée a révélé l'importance qu'il faut accorder à la création d'un modèle scientifique pour la réalisation de simulations. Ils ont même dû adapter leur modèle pour bien prendre en compte les spécificités de leur investigation :

The first step was to create a suitable 3D model of the Roman Colosseum which could be used to run the simulations. [...] Without an accurate model which included all possible passageways and features, the artificial intelligence simulations would be meaningless. [...] This model was adapted to the needs of the simulation: the adaptation process included adding a few missing passages or simplifying the mesh when it was too detailed for the purposes of the project⁶⁰.

Voilà donc deux exemples concrets de l'apport heuristique d'un modèle scientifique ouvrant la porte à de nouvelles études ou hypothèses de travail et illustrant bien le progrès atteint avec l'utilisation des modèles 3D en sciences historiques.

Calcul haute performance

Il va sans dire que ce genre d'expérimentation et de simulation demande beaucoup de puissance informatique. Heureusement, elle est déjà accessible à plusieurs chercheurs, selon les infrastructures disponibles dans leur pays, mais très peu l'utilisent en sciences humaines. Au

Canada, une plateforme de *Calcul haute performance* (ou *High Performance Computing*) a été mise en place en 2006 au coût de 150 millions (en dollars canadiens) pour donner accès à un niveau de puissance d'ordinateur jamais égalé au pays⁶¹. L'Université Laval (comme toutes les universités québécoises) y a contribué, par l'entremise du CLUMEQ (Consortium Laval UQAM McGill and Eastern Quebec for High Performance Computing)⁶². Leur mission est de répondre aux demandes de tous les chercheurs au Canada, autant de ceux en physique qu'en histoire. Toutefois, la très grande majorité des chercheurs de toutes les disciplines n'ont aucune idée de l'existence de ce programme et encore moins comment exploiter toute cette puissance. Il va sans dire que la simulation est le genre d'expérimentation qui cadre très bien avec ce programme. C'est ce que pense John Bonnett :

Such research will require the support of High Performance Computing because the datasets employed will be extremely large. In domains such as history, for example, scholars will be considering how to structure and interpolate information in virtual environments comprised of thousands, hundreds of thousands, and even millions of agents. The incorporation of the Rome Reborn project's model of ancient Rome into Google Earth is one precursor of the kinds of historical reconstructions that historians will attempt to create in virtual environments, given the time, resources, personnel, and computational power. Such representations in the future will be comprised of not only buildings, but also the populace that lived and worked in them – autonomous avatars capable of modeling the behaviour of a given populace over the course of a given day⁶³.

C'est pourquoi il existe de plus en plus d'initiatives en lien avec le *Calcul haute performance* et les sciences humaines, la plus récente étant le projet canadien *Mind the Gap*⁶⁴.

La création et l'étude de modèles 3D permettent de faire des expérimentations autrement impossibles à réaliser et de voyager dans le temps pour tester des hypothèses. Nous avons aussi vu que cela permet de trouver des éléments, des propriétés, des réponses ou des pistes de recherche qu'aucun autre chercheur n'avait pu envisager auparavant. Les modèles 3D ne sont donc pas qu'un résumé de la connaissance d'un bâtiment ou d'une ville ; ils sont aussi des outils qui permettent de faire de nouvelles découvertes.

Évidemment, ce n'est pas parce que le résultat provient d'une modélisation 3D qu'il faut le tenir pour acquis, ou qu'il est plus véridique que celui qu'on atteint par une autre méthode. Tout cela doit être soumis à la discussion entre les pairs. C'est pourquoi la transparence est si importante. De nouvelles données, de nouvelles technologies – des algorithmes pour les simulations par exemple –, pourront toujours contredire les interprétations qui sont mises de l'avant aujourd'hui.

Ainsi, pour que ces technologies soient utilisées à leur plein potentiel et que le processus de modélisation tridimensionnelle soit reconnu comme une véritable méthode de travail en sciences historiques, il faut, à notre avis, que deux autres critères soient satisfaits : que les données puissent être accessibles et conservées le plus longtemps possible et qu'un système permette la critique par les pairs. En d'autres mots, que l'essentiel des principes guidant l'utilisation de la 3D en sciences historiques soit appliqué comme le sont les principes de la recherche dans la plupart des disciplines scientifiques. Les modélisations virtuelles en 3D gagneront en crédibilité et pourront ainsi être plus facilement envisagées comme des représentations de la connaissance s'ouvrant sur de nouvelles avenues de recherche. Il sera ensuite possible d'utiliser de façon optimale toute la puissance maintenant offerte avec les centres de *Calcul haute performance*.

Notes

1. Pour des besoins de clarté, le terme *outil* est employé tout au long de ce texte pour désigner les différentes technologies 3D ou les modèles 3D en tant que résultat permettant de nouvelles utilisations scientifiques, tandis que la *méthode* indique plus particulièrement le processus de modélisation et de restitution tridimensionnel.
2. Nous devons à Bernard Frischer, « Introduction. From Digital Illustration to Digital Heuristic », dans Frischer et Anastasia Dakouri-Hild (dir.), *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, Oxford, ArchaeoPress, 2008(a), p. V-VI., l'emploi de l'expression *heuristique* appliquée aux modèles 3D.
3. Il suffit de consulter les actes de colloques et de congrès consacrés à l'application des technologies en archéologie et au patrimoine où les technologies 3D prennent une part de plus en plus grande: *Archeologica 2.0, Virtual Retrospect, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, VAST: International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage* et *VSMM: Virtual Systems and MultiMedia*.
4. Temy Tidafi, *Moyens pour la communication en architecture: proposition de la modélisation d'actions pour la figuration architecturale*, thèse de doctorat (aménagement), Montréal, Université de Montréal, 1997, p. 152-155.
5. John Bonnett, « Charting a New Aesthetics for History: 3D, Scenarios and the Future of the Historian's Craft », *L'histoire sociale / Social History*, vol. 40, n° 79 (mai 2007), p. 177.
6. Virtual World Heritage Laboratory, *Rome Reborn*, <http://www.romereborn.virginia.edu/> (page consultée le 24 mai 2010). Il est d'ailleurs possible de parcourir ce modèle virtuel dans Google Earth: Google, *Google Earth*, <http://earth.google.com/rome/> (page consultée le 24 mai 2010).
7. C'est le constat général qu'il fait tout au long de son ouvrage principal: David Staley, *Computers, Visualization and History: How Technology Will Transform Our Understanding of the Past*, Armonk, New York, M.E. Sharpe, 2003.
8. Crandall Shifflett, « Paspahugh: Visualizing a Seventeenth-Century Algonquian Indian Village in the Virginia Chesapeake », dans *Proceedings of Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2009)*, Londres, 2009, p. 66.
9. Inspiré de Colin Ware, *Information Visualization. Perception for Design*, San Francisco, Elsevier, 2004 et repris par Frischer, *loc. cit.*, 2008(a), p. V-VI.
10. Il existe plusieurs termes pour dénommer la représentation (virtuelle ou non) d'un objet ou d'un édifice: restitution, reconstitution et reconstruction. Nous privilégions, la plupart du temps, l'emploi du terme *restitution*, car celui-ci « exprime avant tout l'idée de rendre », c'est-à-dire, pour ce qui nous concerne, « de redonner l'idée de l'aspect d'un édifice ancien » à partir de l'inexistant, des parties non visibles – ce qui demande un grand travail d'interprétation –, tandis que la *reconstitution* signifie surtout le rassemblement de morceaux ou de blocs existants et *reconstruction* est réservée pour le monde matériel, pour des reconstructions physiques. Pour plus de détails, voir Jean-Claude Golvin, « La restitution de l'image des villes antiques: le problème de la représentation des parties non visibles », dans Robert Vergnieux et Caroline Delevoie (dir.), *Virtual Retrospect 2003. Proceedings of the Conference, Biarritz (France), November 6th-7th 2003*, Bordeaux, Ausonius, 2004, p. 39-43.

11. Virtual Jamestown, Virginia Center for Digital History, University of Virginia, *Unity Web Player – PaHegh_Site_v10*, http://pages.suddenlink.net/dextertech/PaHegh_Site_v10.html (page consultée le 24 mai 2010).
12. Crandall Shifflett, « Seeing the Past: Digital History as New Model for Scholarship », *MERLOT: Journal of Online Learning and Teaching*, vol. 3, n° 1 (Mars 2007), p. 59.
13. Frischer, « The Rome Reborn Project. How Technology is Helping Us to Study History », *OpEd*, 10 novembre 2008(b).
14. Shifflett, *loc. cit.*, 2007, p. 62.
15. Alain P. Michel et Stéphane Pouyllau, « Du document visuel à la reconstitution virtuelle: l'image de synthèse des usines Renault de Billancourt pendant l'entre-deux-guerres », dans Bertrand Lavédrine (dir.), *Genres et usages de la photographie. 132^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Arles 2007*, Paris, Les Éditions du CTHS, 2009, p. 65-78.
16. Frischer, *Rome Reborn: 3D Digital Modeling and Publishing*, 2007, http://www.neh.gov/digitalhumanities/Conference_07Oct/Frischer.pdf (page consultée le 25 mai 2010).
17. Kings Visualisation Lab, *Theatron 3: Home*, <http://cms.cch.kcl.ac.uk/theatron/> (page consultée le 25 mai 2010).
18. « Bringing Ancient Greek Theatre to Life with Interactive Virtual Archaeology », *DigiCult.info*, n° 4 (août 2003), p. 12.
19. À l'exception du projet concernant l'usine Renault, bien qu'il vise à comprendre le fonctionnement de l'usine dans son ensemble et qu'aucune source iconographique ne suffisait en elle-même. Le projet *Rome Reborn* peut également sembler hors de propos, car beaucoup de sources existent à propos de la ville antique de Rome, mais il faut prendre en considération, dans ce cas précis, l'ampleur et l'échelle du projet. Pour la ville entière, il y a effectivement très peu de sources ou de représentations visuelles qui la représentent de façon globale et satisfaisante, avec un niveau de détails qui permet une restitution rapide et adéquate.
20. Shifflett, *loc. cit.*, 2007, p. 59.
21. Alan Chalmers et Simon Stoddart, « Photo-Realistic Graphics for Visualising Archaeological Site Reconstructions », dans Tony Higgins *et al.* (dir.), *Imaging the Past: Electronic Imaging and Computer Graphics in Museums and Archaeology*, Londres, British Museum Press, 1996, p. 85-93.
22. Tidafi, *op. cit.*, p. 152.
23. Geeske Bakker *et al.*, « Truth and Credibility as a Double Ambition: Reconstruction of the Built Past, Experiences and Dilemmas », *Journal of Visualization and Computer Animation*, vol. 14, n° 3 (2003), p. 159-167.
24. Voir à ce sujet Anthony Grafton, *Les origines tragiques de l'érudition. Une histoire de la note de bas de page*, Paris, Seuil, 1998, qui expose, depuis l'Antiquité jusqu'au XIX^e siècle, les différentes étapes qui ont mené à une transparence accrue du discours historique pour culminer à l'apparat critique tel que nous le connaissons aujourd'hui.
25. Drew Baker, « Visual Based Research – The Need for Transparency », *Making 3D Visual Research Outcomes Transparent Symposium*, The British Academy, Londres, 2006.
26. Comme ce le fut également tout au long de l'histoire des sciences humaines, du moins jusqu'au XIX^e siècle, durant laquelle la mention des sources a toujours été source de discorde. Voir Grafton, *op. cit.*

27. Le projet de restitution de l'antique cité de Rome réalisé par VSmash, *VSmash*, http://pages.usherbrooke.ca/vsmash/index_fr.htm (page consultée le 30 septembre 2010) représente bien ce cas, car il nous est impossible de savoir avec quelles sources ils ont construit le modèle. Il est à noter que la plupart du temps, ces modèles sont destinés au monde du jeu vidéo et que leur authenticité laisse souvent à désirer, bien que nous comprenions que ce ne soit pas un aspect qui soit pris en compte pour la création de tels jeux. Cependant, une plus grande collaboration entre les deux domaines pourrait certainement être profitable.
28. Center for Advanced Spatial Technologies, University of Arkansas, *Nodena Visualization FAQ*, http://hampson.cast.uark.edu/nodena_3D_FAQ.htm#villageFAQ (page consultée le 26 mai 2010).
29. Torre Zuk *et al.*, « Visualizing Temporal Uncertainty in 3D Virtual Reconstructions », dans Mark Mudge *et al.* (dir.), *Proceedings of the 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2005)*, Aire-La-Ville, Eurographics Publications, 2005, p. 99-106.
30. Diane Favro, « In the Eyes of the Beholder: Virtual Reality Re-creations and Academia », *Journal of Roman Archaeology*, vol. 61, Coll. Supplementary Series (2006), p. 329.
31. *Ibid.*
32. CNR, Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali di Roma, *Virtual Museum of the Ancient via Flaminia*, <http://www.vhlab.itabc.cnr.it/flaminia/> (page consultée le 26 mai 2010).
33. *Ibid.*
34. Favro, *loc. cit.*, p. 329.
35. UNESCO, *Charte de l'UNESCO sur la conservation du patrimoine numérique*, http://portal.unesco.org/ci/fr/ev.php-URL_ID=13367&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html (page consultée le 26 mai 2010).
36. Vergnieux, « Archéogrid : Vers un conservatoire des données 3D du patrimoine », dans Vergnieux et Delevoie (dir.), *Virtual Retrospect 2005. Proceedings of the Conference, Biarritz (France), November 8th-9th-10th 2005*, Bordeaux, Ausonius, 2006, p. 160.
37. Frischer, Institute for Advanced Technology in the Humanities, *Serving and Archiving Virtual Environments*, <http://www3.iath.virginia.edu/save/> (page consultée le 26 mai 2010).
38. Archéogrid – Archivage 3D, *Archéovision*, <http://archeovision.cnrs.fr/fr/archeogrid/index.htm> (page consultée le 26 mai 2010).
39. Vergnieux, *loc. cit.*, 2006, p. 157-162; et Vergnieux, « Archéogrid – Des modèles numériques 3D pour quoi faire? », dans Vergnieux et Delevoie (dir.), *Virtual Retrospect 2007. Actes du Colloque, Pessac (France), 14-15-16 novembre 2007*, Bordeaux, Ausonius, 2008(a), p. 241-245.
40. London Charter, *Home*, <http://www.londoncharter.org/> (page consultée le 27 mai 2010).
41. L'ICOMOS est une organisation non gouvernementale internationale de professionnels qui œuvre à la conservation des monuments et des sites historiques dans le monde. Voir ICOMOS, *Conseil International des Monuments et des Sites*, <http://www.international.icomos.org/> (page consultée le 27 mai 2010).
42. ICOMOS, *Document Nara sur l'authenticité*, http://www.international.icomos.org/charters/nara_f.htm (page consultée le 27 mai 2010).

43. ICOMOS, *The ICOMOS Ename Charter*, <http://www.enamecharter.org/index.html> (page consultée le 27 mai 2010).
44. London Charter, *Introduction*, 5. *Charter Implementation*, <http://www.londoncharter.org/introduction.html> (page consultée le 27 mai 2010).
45. The Spanish Society of Virtual Archaeology (SEAV), *International Forum of Virtual Archaeology*, <http://www.arqueologiavirtual.com/forumdefinicioning.php> (page consultée le 30 septembre 2010).
46. Cette méthode est entièrement décrite dans Vergnieux, *loc. cit.*, 2006, p. 157-162.
47. *Supra*, p. 248.
48. *Supra*, p. 250.
49. The Cyprus Institute, *VAST 2010 | Science & Technology and Museums. A Challenge for the New Decade*, <http://www.vast2010.org/> (page consultée le 1^{er} octobre 2010).
50. Durant la période de questions et de commentaires de sa présentation. Voir Heinz Rùther, «Documenting Africa's Cultural Heritage», dans Alessandro Artusi et al. (dir.) *VAST 2010. The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage / The 8th EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage, Paris, France September 21-24, 2010*, Goslar, Germany, Eurographics Association, 2010, p. xv-xviii.
51. Frischer, *loc. cit.*, 2007, p. 3.
52. Vergnieux, *loc. cit.*, 2008(a), p. 242.
53. Virtual World Heritage Laboratory, *Virtual World Heritage Laboratory*, <http://vwhl.clas.virginia.edu/> (page consultée le 27 mai 2010).
54. Jean Robillard, «La modélisation», dans Benoît Gauthier (dir.), *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données*, Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, 2009, p. 159.
55. Vergnieux, *loc. cit.*, 2006, p. 158-159.
56. Vergnieux, «Origine de l'usage de la Réalité Virtuelle à l'Institut Ausonius et les premiers travaux sur le Circus Maximus», dans Jean-Michel Roddaz et Jocelyne Nelis-Clément (dir.), *Le cirque romain et son image*, Bordeaux, Ausonius, 2008(b), p. 240.
57. Diego Gutierrez et al., «AI and Virtual Crowds: Populating the Colosseum», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, n°2 (2007), p. 4.
58. Frischer, *loc. cit.*, 2007, p. 3.
59. Gutierrez et al., *loc. cit.*, p. 17.
60. *Ibid.*, p. 7 et 13.
61. Bonnett, «High-Performance Computing: An Agenda for the Social Sciences and the Humanities in Canada», *Digital Studies / Le champ numérique*, vol. 1, n°2 (2009). Voir également Compute Canada, *Compute/Calcul Canada*, <https://computecanada.org/> (page consultée le 27 mai 2010).
62. CLUMÉQ, *CLUMÉQ*, <http://www.clumeq.ca/> (page consultée le 27 mai 2010).
63. Bonnett, *loc. cit.*, 2009.
64. Mind the Gap, *Bridging HPC and the Humanities*, <http://ra.tapor.ualberta.ca/mindthegap/> (page consultée le 31 mai 2010). Voir aussi Bonnett et al., *High Performance Computing in the Arts and Humanities*, <https://www.sharcnet.ca/my/research/hhpc?print=1> (page consultée le 31 mai 2010); et Linda Vu, *Humanities and High Performance Computers Connect at NERSC*, <http://www.lbl.gov/cs/Archive/news122208b.html> (page consultée le 31 mai 2010).