



La reconstitution 3D de la cathédrale

Par Stéphane Potier, architecte DPLG, co-fondateur d'Inventive Studio,
spécialiste de l'infographie appliquée au patrimoine.

Aujourd'hui, les reconstitutions 3D en images de synthèse ont pris une place prépondérante dans la communication des dernières découvertes archéologiques à destination du grand public. Les images sont le plus souvent belles et attrayantes, et semblent figer un état des connaissances sur un élément de patrimoine, donnant l'impression qu'il n'y a ni zones d'ombre ni doutes sur la véracité de la restitution proposée. Mais quelle est la valeur scientifique d'une telle représentation ? Comment l'image a-t-elle été construite ? Quel en est l'impact sur la compréhension et la critique de ce qui est donné à voir ?

Ci-dessus. Le modèle 3D de la flèche de la cathédrale, texturé, en volume et en filaire.
© Inventive-Stéphane Potier / Fondation de l'Œuvre Notre-Dame. -

Le travail de modélisation 3D réalisé dès les années 2000 sur la cathédrale de Strasbourg, unique au monde par sa complexité et l'étendue des domaines étudiés, a permis d'explorer ce tout nouveau champ d'expérimentations engendré par l'utilisation de l'outil 3D dans la compréhension du patrimoine bâti.



La genèse du projet

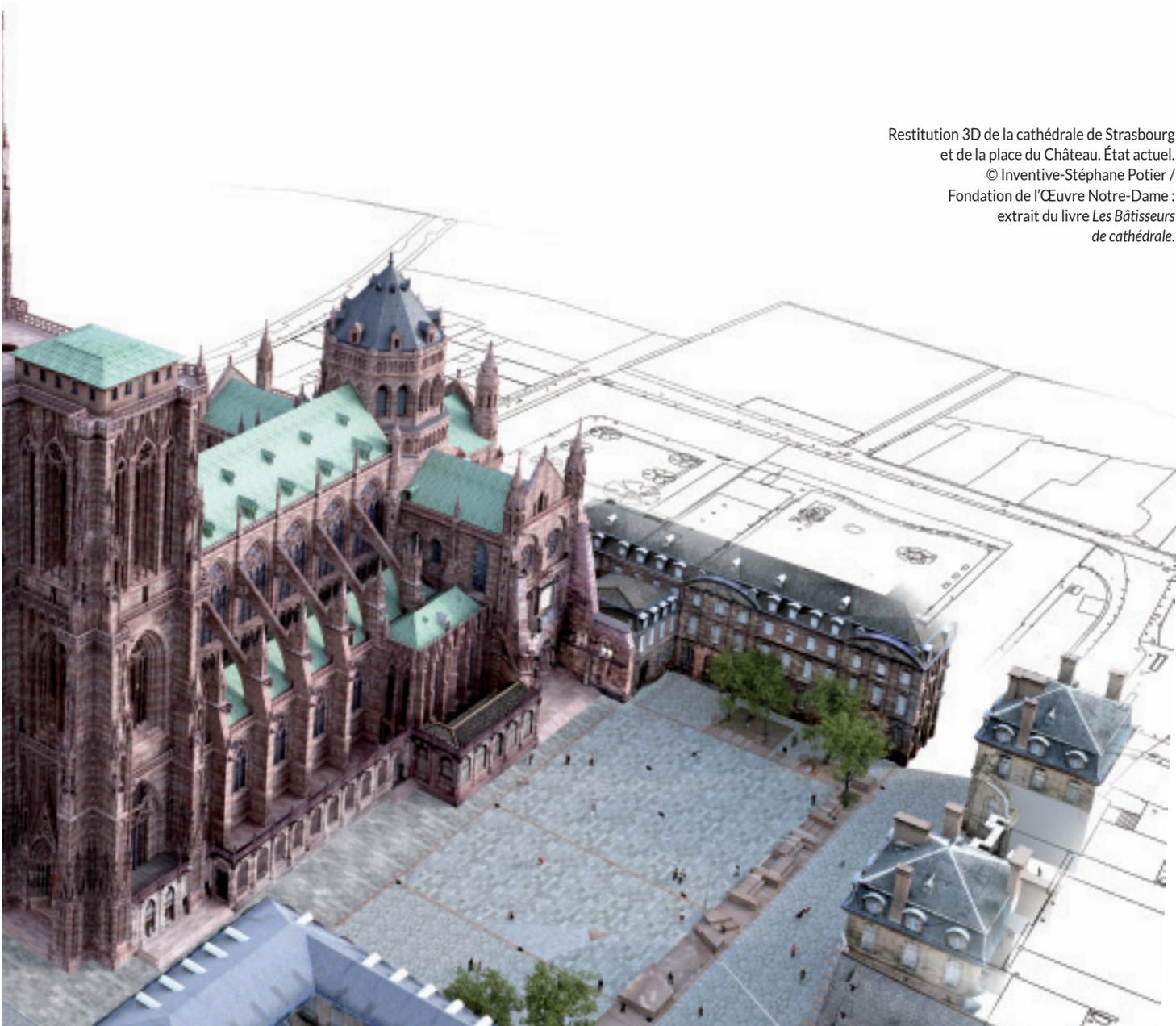
En 1998, la Fondation de l'Œuvre Notre-Dame, institution en charge depuis huit siècles de la construction, puis de l'entretien et de la restauration de la cathédrale de Strasbourg, engage avec Stéphane Potier, architecte spécialisé en infographie appliquée au patrimoine, une campagne de modélisation en trois dimensions des étapes de construction de la cathédrale.

Il s'agissait, à partir de l'extraordinaire fonds documentaire de l'Œuvre Notre-Dame (plans, photographies, dessins médiévaux,...), d'obtenir une base de données architecturale constituant un nouveau médium de recherche et d'étude, de participer à la formation des artisans de l'Œuvre Notre-Dame et d'offrir une meilleure compréhension de la cathédrale au grand public.

Sept ans de travail ont été nécessaires pour achever la modélisation complète de l'édifice, ou plutôt des édifices depuis 1015. Plus de 100 000 objets architecturaux ont été modélisés, toutes les déformations du bâtiment prises en compte, le tout avec une marge d'erreur quasi nulle.

On pourrait s'imaginer que ces sept années se sont passées à travailler seul devant un écran d'ordinateur, mais cela s'est passé tout autrement ! Si la modélisation 3D, réalisée avec une méthodologie très stricte, a permis de disposer d'un outil de formulation et de vérification d'hypothèses archéologiques, elle a surtout constitué une base de discussion entre architecte en charge du modèle 3D, historien et artisan praticien, collaboration indispensable par son interdisciplinarité.

Restitution 3D de la cathédrale de Strasbourg
et de la place du Château. État actuel.
© Inventive-Stéphane Potier /
Fondation de l'Œuvre Notre-Dame :
extrait du livre *Les Bâisseurs
de cathédrale*.



La reconstitution 3D de la cathédrale

En effet, ce travail de restitution en images de synthèse comporte par nature un caractère hypothétique. Il convient donc d'effectuer un travail de validation collégial des hypothèses de restitution : l'architecte apporte une vision d'ensemble dans la restitution, recherche la cohérence structurelle (surtout au niveau de la réalité constructive dans le modèle numérique) et architecturale, et essaye de retrouver l'esprit, toutes proportions gardées, des bâtisseurs médiévaux, en examinant les éléments qui ont prévalu lors de la conception et de la construction de la cathédrale. À quelles influences le maître d'œuvre était-il soumis, avec quelles contraintes a-t-il dû composer, quels acquis techniques et architecturaux avait-il à sa disposition ?

L'architecte devait ainsi s'appuyer sur les compétences de Sabine Bengel, l'historienne de l'art de l'Œuvre Notre-Dame, pour sa connaissance du contexte historique, architectural et artistique. L'étude des sources et des influences stylistiques, qu'elles soient architecturales ou picturales, se révèle indispensable pour l'interprétation du déroulement du chantier.

Coupe perspective est-ouest sur la cathédrale.
État 1439. © Inventive-Stéphane Potier /
Fondation de l'Œuvre Notre-Dame :
extrait du livre *Les Bâtisseurs de cathédrale*.



Enfin, le travail de restitution a été couplé aux observations de Clément Kelhetter, maître-sculpteur et chargé de restauration, ayant travaillé plusieurs décennies sur la cathédrale. Il a apporté sa parfaite connaissance du travail de la pierre, de l'utilisation des outils de taille et de sculpture, ainsi que ses hypothèses sur la logistique d'un chantier médiéval. Dans les faits, au fil des années, les compétences de chacun se sont confondues, occasionnant de longues heures d'échanges, ainsi que des investigations dans les moindres recoins de la cathédrale. Le fruit de ce travail, hormis les multiples applications pédagogiques, a été l'occasion de réinterpréter les traces existantes et de lancer de nouvelles pistes inexplorées.

Restitution du chantier de construction de la nef entre 1235 et 1250. Le massif de façade de la cathédrale romane est encore en place à l'ouest.

© Inventive-Stéphane Potier /

Fondation de l'Œuvre Notre-Dame :
extrait du livre *Les Bâisseurs de cathédrale*.



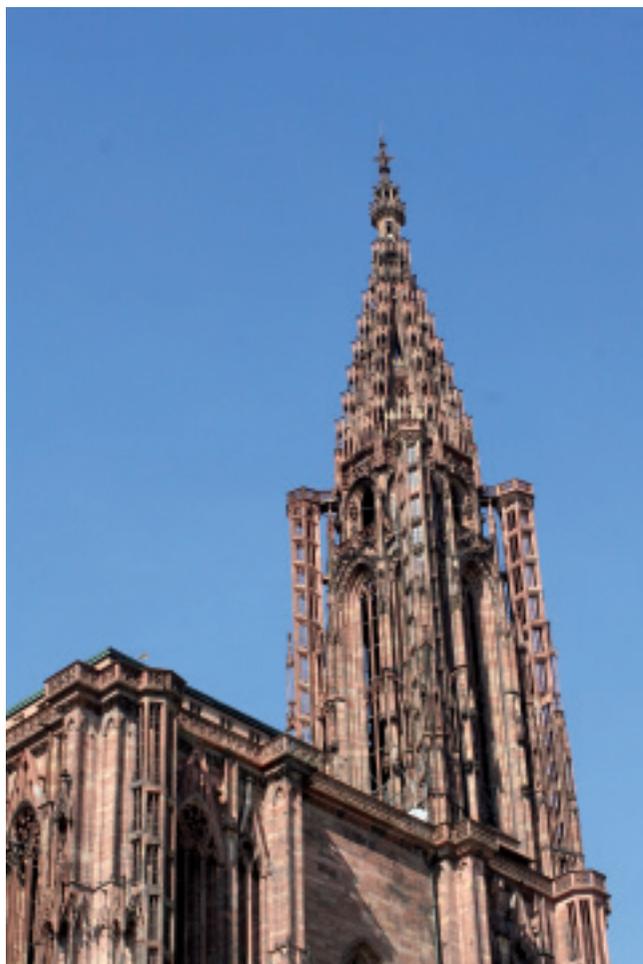
Stratégies de modélisation 3D

Organisation des données

Modéliser la cathédrale, ou plutôt les cathédrales, sachant que nous sommes remontés jusqu'en 1015, date de la fondation de la première basilique romane, dont il ne reste quasi-rien aujourd'hui, implique de gérer une masse considérable d'objets architecturaux dans le modèle 3D, autant dans l'espace (leur emplacement exact) que dans le temps (leur date de construction ou de démolition). Les modélisations reposent ainsi sur un principe très strict de dénomination et de décomposition architecturale de l'édifice en éléments géométriques simples, puis de recombinaison numérique chronologique dans le logiciel 3D. Cela permet d'une part de gérer la masse d'objets architecturaux constitutifs du modèle (plus de 100 000), d'autre part de rendre ce modèle évolutif. C'est ce caractère évolutif du modèle, essentiel pour la formulation et la rectification d'hypothèses archéologiques de restitution, qui a présidé à toute l'organisation des données.

Précision du modèle numérique

Une autre contrainte fondamentale de la modélisation informatique consiste dans la régularité géométrique des formes créées en 3D, confrontée à la réalité du bâtiment qui admet bien des exceptions géométriques, aussi bien en plan qu'en élévation, inhérentes aux principes de la construction médiévale ; la moindre tentative de systématisation dans la modélisation de la cathédrale est vouée à l'échec, les « liaisons » entre éléments ne s'opérant plus. C'est pour cette raison qu'il faut faire subir des « déformations » au modèle 3D pour que tous les points de jonction (angle des transepts et du chœur par exemple) respectent la réalité de l'existant. On procède au calage des éléments grâce aux relevés très précis (les photogrammétriques) des façades que l'on superpose au modèle numérique, que l'on complète par des relevés sur place. Cette phase, presque aussi importante que la modélisation elle-même, permet d'obtenir la précision la plus élevée possible dans le modèle 3D. On obtient ainsi un modèle viable pour la validation d'hypothèses archéologiques, la marge d'erreur étant pratiquement nulle sur chaque élément modélisé, et de 10 centimètres sur l'implantation générale de la cathédrale.



À gauche. Évocation du chantier de la nef au XIII^e siècle. Les échafaudages sont restitués à partir des traces dans les parois. © Inventive-Stéphane Potier / Fondation de l'Œuvre Notre-Dame : extrait du livre *Les Bâtitisseurs de cathédrale*.

À droite. La flèche actuelle de Jean Hultz (1439), confrontée virtuellement au projet originel non réalisé d'Ulrich d'Ensing (à droite). © Inventive-Stéphane Potier / Fondation de l'Œuvre Notre-Dame : extrait du livre *Les Bâtitisseurs de cathédrale*.

Comment donner l'apparence de la réalité ?

Pour effectuer le rendu d'une image de synthèse à partir d'une scène 3D, il faut mettre en place une source de lumière simulant le soleil, puis une caméra virtuelle possédant tous les attributs d'un appareil photo (exposition, ouverture, sensibilité iso). Cependant, le plus important pour obtenir un résultat réaliste réside dans la création de textures et de matériaux convaincants. La mise en textures du modèle numérique est fondée sur un principe très simple : il faut concevoir des textures planes à base de photos réelles ou intégralement fabriquées (définies par leur couleur, luminosité, brillance, relief, ...) que l'on vient « plaquer » sur les objets modélisés. On obtient, dans le cas d'un mur par exemple, une texture répétitive qu'il faut beaucoup travailler pour éviter un effet de « tapisserie » au niveau des raccords entre textures. Le rôle des textures n'est pas uniquement décoratif, mais comporte un caractère informatif dans la mesure où l'on respecte le rythme réel des assises de pierre.



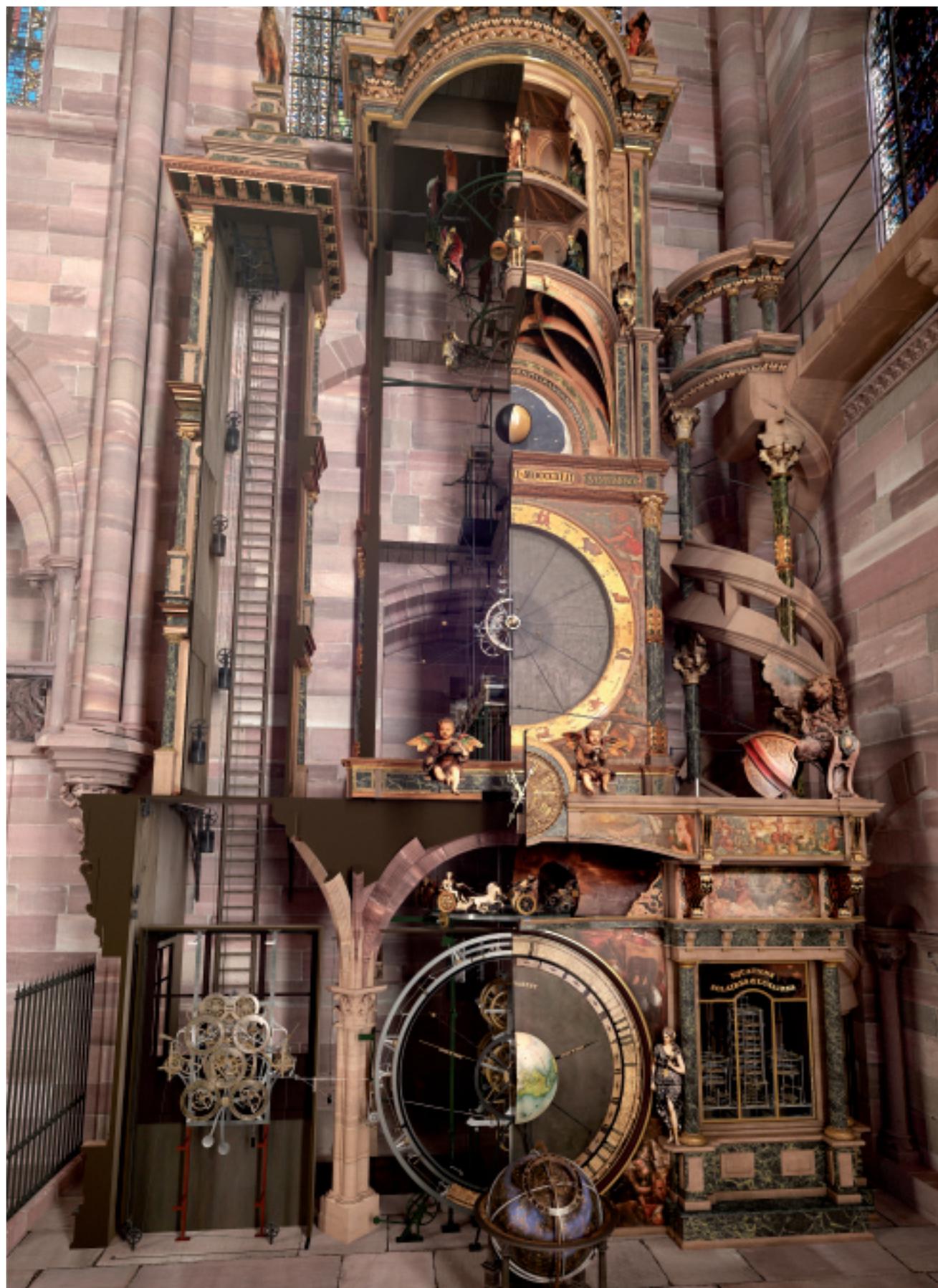
L'éthique de la restitution

Nous venons de voir comment l'on pouvait façonner ce formidable outil technique pour l'adapter à la modélisation de la cathédrale, à condition d'en connaître les limites et de respecter une certaine éthique de la restitution.

Il faut en effet insister sur le fait que, tout au long de la restitution architecturale, ne sont formulées que des hypothèses, sans jamais émettre d'affirmations non fondées : l'objectif est d'ouvrir de nouvelles pistes à explorer grâce à l'approche en trois dimensions. Si l'on perd de vue ce préliminaire, si l'on se laisse impressionner par l'aspect « nouvelle technologie » et le rendu propre de l'image, c'est là que l'image de synthèse devient un danger, la notion d'outil de représentation prenant le pas sur celui d'outil de formulation d'hypothèses.

Les choix de représentation sont ainsi directement inspirés des principes énoncés par Aloïs Riegl à la fin du XIX^e concernant la restauration des monuments. Il s'en dégage une éthique de la restitution et de la transmission des hypothèses archéologiques concernant la cathédrale : il s'agit de « *représenter le déroulement de la vie du bâtiment* », distinguer l'original de la restauration, ... par opposition à Viollet-Le-Duc : « *refaire ce qui aurait dû être* » ; par conséquent, il ne s'agit pas de représenter un bâtiment « idéal », mais, en l'absence de toute trace ou de toute analogie possible, de rester le plus sobre et le plus rigoureux possible pour ne pas sombrer dans le spectaculaire à tout prix.





Le rôle de l'outil 3D dans les restitutions archéologiques

Contrairement au dessin ou à l'illustration 2D, le modèle 3D ne permet aucun « angle mort » dans la restitution ; celle-ci doit être exhaustive. On peut, sur l'écran de l'ordinateur, au sein même du logiciel, se déplacer interactivement sous tous les angles de vues, faire apparaître ou disparaître n'importe quel élément (grâce notamment au système de gestion chronologique et architectonique des données). Les différents intervenants peuvent visualiser en temps réel les hypothèses de restitution, les modifier ou même en créer directement. Après coup, on peut alors vérifier *in situ* les modélisations réalisées, en les confrontant aux traces archéologiques présentes sur l'édifice. On sait où chercher !

De multiples applications

En parallèle du travail principal de restitution scientifique des étapes de construction de la cathédrale, de nombreuses applications du modèle numériques ont vu le jour.

Que ce soit à l'occasion de l'interprétation de fouilles archéologiques sous la chapelle Saint-Laurent, l'aide aux chantiers de restauration menés par l'œuvre Notre-Dame, la publication d'une monographie sur la cathédrale, la réalisation d'un film de 30 minutes sur la genèse et le fonctionnement de l'Horloge astronomique,... il est apparu que les images et surtout les films 3D faisaient preuve d'une efficacité redoutable en tant qu'outils pédagogiques pour mieux connaître et comprendre

BIBLIOGRAPHIE

- BENGEL S., NOHLEN M-J, POTIER S., *Bâtisseurs de cathédrale. Strasbourg, mille ans de chantier*, Strasbourg, La Nuée Bleue, 2014.
- REINHARDT H., *La Cathédrale de Strasbourg*, Paris, Arthaud, 1972.,
- RECHT R., *La Cathédrale de Strasbourg*, Strasbourg, La Nuée Bleue, 1993..
- RIEGL A., *Le Culte moderne des monuments*, Paris, Éditions du Seuil, 1984.
- BECHMANN R., *Les Racines des cathédrales*, Paris, Payot et rivages, 1996.

le bâtiment, l'architecture, les techniques de construction. Enfin, depuis peu, nous participons à une véritable révolution des technologies 3D, en intégrant le modèle de la cathédrale dans un casque de réalité virtuelle. Complètement immergé dans les volumes, libres de nos déplacements, le résultat est époustouflant. C'est aujourd'hui un tout nouveau monde qui s'ouvre dans l'exploration du patrimoine.

Page de droite. Restitution 3D d'un écorché de l'horloge astronomique, laissant apparaître le mécanisme de 1842 conçu par J. B. Schwilgué. © Inventive-Stéphane Potier – Jean-Luc Weimar / Fondation de l'Œuvre Notre-Dame.

Ci-dessous. Modèle tridimensionnel du sous-sol de la chapelle Saint-Laurent, éléments retrouvés lors des fouilles. © T. Landes, Insa de Strasbourg ; J.-J. Bigot, Inrap ; Stéphane Potier, Inventive Studio / Œuvre Notre-Dame.

