

## RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES ET MODÉLISATIONS 3D DES PARTIES HAUTES DE LA CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE CHARTRES

### 1. INTRODUCTION

La cathédrale Notre-Dame de Chartres a fait l'objet de très nombreuses études architecturales, artistiques, historiques et archéologiques depuis plusieurs siècles, probablement même depuis que ses ombres monumentales dominent la ville. Son histoire mouvementée a construit un monument complexe et gracieux où les styles s'entremêlent et se complètent pour finalement cacher sa structure architecturale. Ainsi, malgré la richesse de la bibliographie, de nombreuses parties du monument sont encore à étudier.

La campagne 2009 de restauration des enduits du XIII<sup>e</sup> siècle pour les parties hautes du chœur de la cathédrale fut l'occasion, pour le service Archéologie de Chartres, de mener une opération de relevés archéologiques sous la direction de Jérémie Viret. L'échafaudage, mis en place pour la restauration, a permis à notre équipe d'effectuer des observations sur la voûte et sur les fenêtres hautes habituellement inaccessibles. Ce travail avait pour objectif de documenter tous les éléments susceptibles d'apporter des informations sur la construction de cette partie du monument: techniques, phasage et datations. Nos observations ont principalement porté sur les percements de la voûte et sur les trous de boulin, en grande partie recouverts par les enduits des XV<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. Une campagne de relevés topographiques a été mise en place afin d'intégrer l'ensemble de ces informations aux relevés architecturaux existants et de proposer différents documents pour la compréhension de ces éléments: échafaudage, utilisations des percements pour la construction et l'aménagement, utilisations liturgiques. Après un bref rappel historique et une présentation de la méthode et des sources employées, nous développeront l'intérêt de la conception d'un modèle en 3D pour l'étude archéologique de la cathédrale.

### 2. RAPPEL HISTORIQUE

Les origines du monument sont mal connues et restent encensées de légendes faisant remonter sa construction au I<sup>er</sup> ou au II<sup>e</sup> siècle de notre ère<sup>1</sup>. La bibliographie, depuis le XIX<sup>e</sup> (PRACHE 2000; DURAND 2006) siècle pro-

<sup>1</sup> Les sources du XIX<sup>e</sup> siècle sont très nombreuses voir par exemple: BULTEAU 1850; DURAND 1881.

pose généralement la construction de la première cathédrale à l'emplacement actuel au cours du IV<sup>e</sup> siècle. Des observations<sup>2</sup> stratigraphiques de l'insertion de l'édifice dans les niveaux de la ville antique sont utilisées pour étayer cette datation, sans toutefois pouvoir préciser les relations du bâtiment avec ces niveaux. Plusieurs textes mentionnent la présence d'un évêque à Chartres (DE LÉPINOIS, MERLET 1862-1865) dès le début de l'ère chrétienne, en tout cas certaine à partir du VI<sup>e</sup> siècle. Cependant, même si une église devait servir de siège épiscopal rien ne nous permet d'affirmer qu'elle fut située à l'emplacement de l'actuelle cathédrale. La première mention directe de la cathédrale est faite dans un manuscrit du IX<sup>e</sup> siècle au sujet de sa destruction en 743<sup>3</sup>. De nombreuses destructions et reconstructions du monument sont relatées par la suite (PRACHE, JOUANNEAUX 2000). Après l'incendie de 1020 l'évêque Fulbert fait construire une cathédrale ambitieuse pour l'époque, et dont les proportions sont conservées par le bâtiment actuel. L'incendie de 1134 détruisit les maisons canoniales et l'hôtel-Dieu au pied de la cathédrale sans pour autant l'atteindre. La façade actuelle est alors construite devant l'église romane et flanquée des deux tours clochers, au moins à partir de 1145. En 1194 un incendie détruit à nouveau l'édifice dont ne subsiste plus que la crypte et la récente façade occidentale. Les travaux de réédification sont immédiatement entrepris et dès 1221 le nouveau chœur est fonctionnel, couvert, cette fois-ci, d'une voûte de pierre. Nous passons sur les différentes étapes de constructions du reste du monument, l'objet de notre étude n'ayant pas reçu d'autres modifications architecturales. Le dernier incendie du monument détruisit en 1836 l'intégralité de ses charpentes et de ses toitures, remplacées depuis 1841 par une charpente métallique et une couverture en cuivre.

Différentes campagnes de nettoyage et de réfection des enduits de la voûte ont eu lieu au cours des siècles. Au moins trois enduits successifs ont pu être identifiés lors de la restauration du chœur en 2009: l'enduit initial du XIII<sup>e</sup> siècle, un enduit du XV<sup>e</sup> siècle et autre du XVIII<sup>e</sup> siècle. Ces trois enduits portent un décor de faux joint donnant l'illusion que les pierres de la voûte sont visibles.

### 3. MÉTHODE ET SOURCES

Afin de pouvoir situer nos observations à l'échelle du monument nous avons mené une campagne de relevés topographiques visant à géo-référencer nos documents, à établir un système dans lequel les observations postérieures

<sup>2</sup> Fouilles de Lassus en 1849 sous la nef, fouilles du parvis en 1991 et 1992, observations de murs dans la crypte dont l'appareil est attribué à l'époque antique.

<sup>3</sup> Communication orale L. Coulon: GAUTHIER, PICARD (dir.) 1992, 39: "Ecclesia episcopali quae honorem sanctae Dei genitricis Mariae".



Fig. 1 – Relevés topographiques et manuels sur l'échafaudage (photographie J. Viret).

pourraient être coordonnées, et à rapprocher les nouvelles données collectées des relevés existants. Un cheminement polygonal a été construit, allant de l'extrados de la voûte à la rue du Cloître Notre-Dame, en passant à la fois par le triforium et par le sol actuel. A partir de ce cheminement, trente stations<sup>4</sup> ont été créés sur l'échafaudage (Fig. 1), dans le triforium, dans les combles et sur le dallage du chœur et du transept. Cette méthode nous a assuré un polygone ayant une fermeture planimétrique de quatre centimètres et altimétrique de trois centimètres. Ces résultats sont fortement influencés par le stationnement sur l'échafaudage et l'utilisation de deux descentes d'orientation (l'une entre les combles et l'échafaudage, et l'autre entre l'échafaudage et le sol). La vérification de nos mesures par points visés de plusieurs stations nous a permis d'obtenir une précision de 2 cm pour l'ensemble des points relevés. Toutes les stations ainsi que les 8614 points de détail ont été géo-référencés dans les systèmes nationaux actuellement en vigueur: en RGF 93 pour la planimétrie et en NGF 69 pour l'altimétrie. Enfin, cette campagne topographique a été complétée par des relevés manuels s'appuyant sur les points de détail précités et par des photographies redressées et géo-référencées. L'ensemble de la documentation de la campagne est donc coté en dans trois dimensions et dans le même système topographique.

<sup>4</sup> Ces stations n'ont pas toutes été matérialisées mais elles ont toutes été repérées sur un schéma éventuellement complété par une photographie.

Replacer ces informations sur les relevés existants a cependant posé quelques problèmes. Chaque ouvrage traitant de la cathédrale de Chartres possède au moins un plan, et parfois des dessins d'élévations. Les sources de ces plans ne sont pas toujours citées, ils ne sont pas toujours publiés avec une échelle et ne sont jamais géo-référencés. Des cotes sont parfois données, mais la méthode de prise mesure utilisée n'est jamais exposée; il doit s'agir généralement de mesures effectuées sur plan. Nous avons essayé de retrouver les documents ayant servi à l'élaboration de ces plans.

Tous les auteurs s'appuient principalement sur la même source: les relevés architecturaux effectués par J.-B. Lassus entre 1838 et 1857 (LASSUS, AMAURY DUVAL, DIDRON 1872). Ces relevés, commandés par le Ministère de l'Instruction Publique, devaient être accompagnés d'une description des planches, d'une présentation historique du monument et de plusieurs dessins artistiques. Le projet gigantesque n'a jamais abouti. Seules soixante-douze planches grand *in-folio* ont été publiées entre 1842 et 1867 présentant les plans, les élévations et des dessins des sculptures et des vitraux effectués sous la direction de Lassus<sup>5</sup>.

Parmi ces documents, deux planches concernent les parties hautes du chœur. Le premier est la planche n° II qui est un plan de l'ensemble du monument au niveau des galeries (Fig. 2<sup>6</sup>). Elle est toujours reproduite sans échelle et sans orientation. Le document original (LASSUS 1872) en comporte pourtant une: «Echelle de 0,005 pour mètre» soit au 1/200<sup>e</sup>, que l'on peut d'ailleurs vérifier grâce à l'échelle graphique, elle non plus jamais reproduite. Ce dessin rassemble plusieurs éléments qui ne se trouvent pas en réalité au même niveau. Les colonnettes du triforium sont visibles ainsi que les arcs et les clés de voûte. Les toitures des bas côtés sont aussi représentées alors que les portes menant à ces bas côtés ne sont pas dessinées sur le plan. Le deuxième document (planche n° XXXV) est une coupe longitudinale de la cathédrale (Fig. 3). Ce dessin n'a pas été réalisé directement par Lassus mais par un certain Adams. Cependant, il s'appuie en grande partie sur le relevé de la façade méridionale dessiné par Lassus (planche n° X), et les deux dessins sont superposables. La coupe longitudinale ne comporte pas d'échelle, mais le dessin de la façade Sud nous indique une échelle du 1/200<sup>e</sup>, encore une fois vérifiée par son échelle graphique. Cette planche représente pour le chœur, sur la même coupe, les pans de la toiture, les murs présents dans les combles, la voûte et ses clés, les fenêtres hautes, tous les arcs doubleaux, le triforium, les arcades des bas côtés et les fenêtres des bas côtés. Ce document a été repris,

<sup>5</sup> Ces planches ont été rapprochées du texte de P. Durand par J.-M. Leniaud dans DURAND, LASSUS, LENIAUD 2006.

<sup>6</sup> Nous publions ici un extrait de ce plan publié dans DURAND 2006.

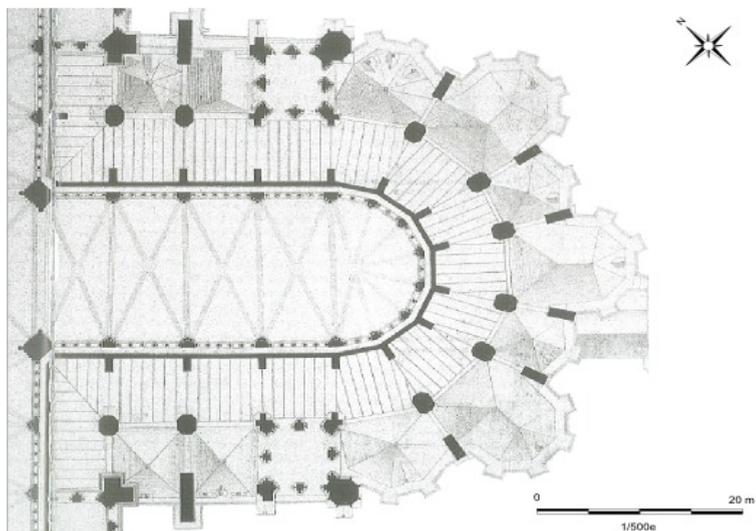


Fig. 2 – Extrait du plan au niveau de la galerie mis à l'échelle 1/500<sup>e</sup>, d'après la planche de J.-B.-A. Lassus reproduite en 2006 par DURAND, LASSUS, LENIAUD, 3.

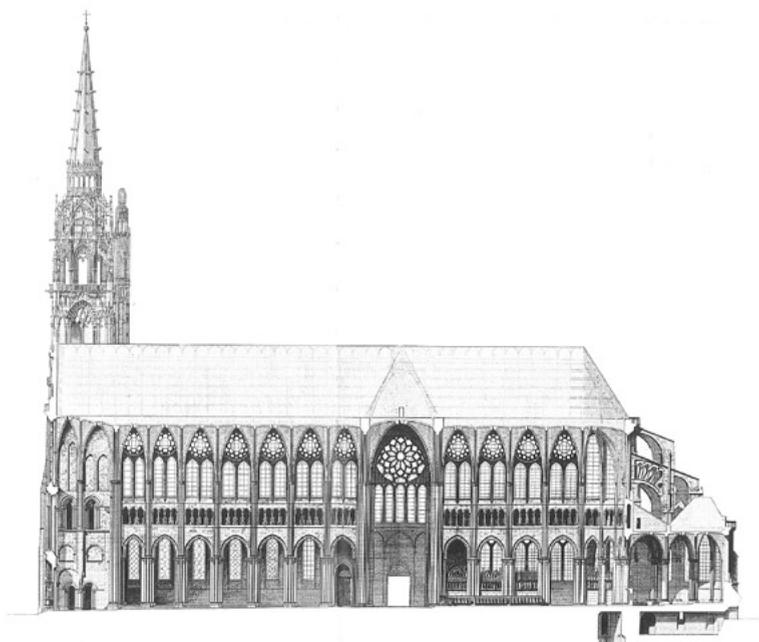


Fig. 3 – Coupe longitudinale de la cathédrale d'après la planche de J.-B.-A. Lassus reproduite en 2006 par DURAND, LASSUS, LENIAUD, 3, sans échelle.

une première fois par G. Nicot afin de rajouter le décor du XVIII<sup>e</sup> siècle de la clôture du chœur, puis une deuxième fois lors d'une campagne de photogrammétrie des parties basses réalisée par la société GRAPHIM en 2002.

Nous pouvons d'abord remarquer que ces documents visent à synthétiser de nombreuses informations afin de présenter une vue de la cathédrale la plus complète possible. Nous pouvons y voir un réel besoin de représentations en trois dimension, et la solution technique adoptée a été la création de vues sous des angles différents comportant différents niveaux de profondeur. Ces vues sont orthogonales et permettent d'effectuer quelques mesures.

#### 4. MODÉLISATION 3D

Un modèle en 3D a été conçu à partir de nos relevés topographiques. La modélisation a été volontairement modeste afin d'obtenir rapidement un modèle clair et facilement exploitable. Elle a consisté essentiellement à la mise en volume des lignes architecturales maîtresses relevées au tachéomètre. A partir de ce modèle 3D, nous avons créé les mêmes documents que ceux produits par Lassus: un plan des parties hautes du chœur cumulant sans distinction les informations récoltées (Fig. 4) et une coupe longitudinale de la voûte du chœur (Fig. 5). Le modèle 3D nous a aussi permis de créer des profils en travers comme par exemple celui entre les deux premières travées du chœur (Fig. 6), et enfin des vues en perspective selon différents angles souhaités (Figs. 7, 8 et 9). La manipulation aisée du modèle permet à la fois d'intégrer tous les éléments observés, de les représenter avec clarté et précision, et de les utiliser afin d'analyser la structure du monument. Il est ainsi possible par exemple de mesurer l'épaisseur de la voûte couvrant le chœur, comprise entre quatorze et trente deux centimètres, ou encore de comparer les altitudes des trous de boulins. Enfin, grâce à cet outil, différentes hypothèses peuvent être formulées graphiquement sur le même document. Nous pouvons alors parler au sens propre de document de synthèse.

À partir de ce document nous avons essayé de faire concorder nos données avec les relevés architecturaux du XIX<sup>e</sup> siècle (Fig. 10). Nous avons ainsi pu mettre en évidence quelques erreurs présentes sur ces plans. Nous obtenons ainsi une différence de quinze centimètres pour la hauteur du mur représenté sur la coupe longitudinale, mesure prise du haut du mur dans les combles jusqu'au sol à l'intérieur du chœur. Nous obtenons aussi une différence de quarante centimètres pour la longueur du chœur sur ce même document. Cependant cette erreur ne semble pas uniforme car la différence dans le placement des clés de voûte entre nos relevés et ceux de Adams peut aller jusqu'à un mètre. Cette erreur est d'ailleurs visible au niveau du triforium, où cinq colonnettes sont représentées pour chaque travée alors qu'en réalité les trois dernières travées en comportent six. Nous pouvons enfin remarquer

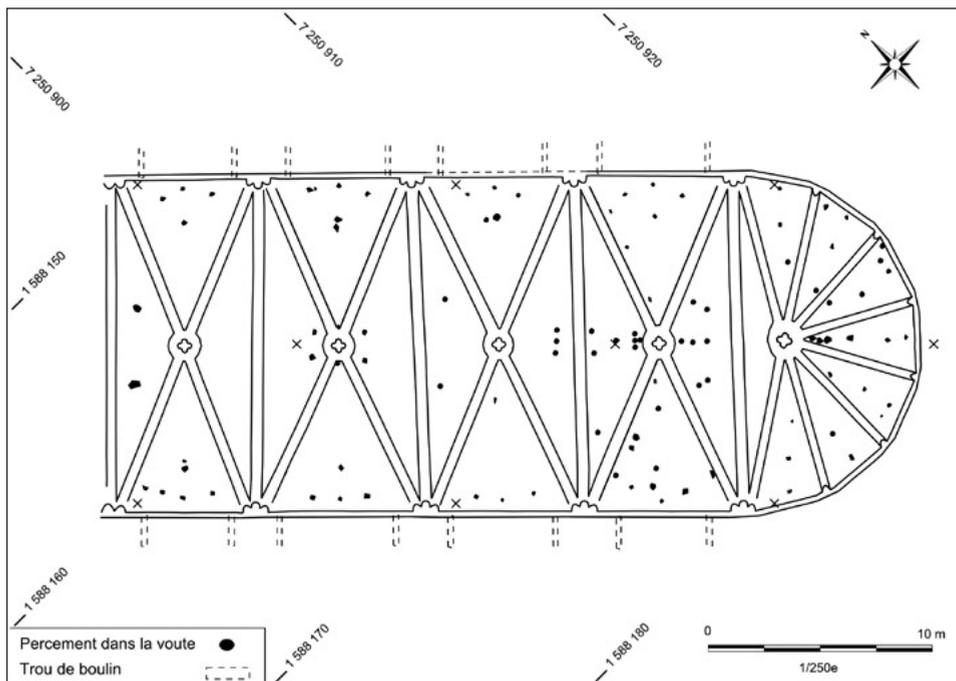


Fig. 4 – Relevé planimétrique des trous de boulin et des percements dans les parties hautes du chœur; échelle au 1/250<sup>e</sup>.

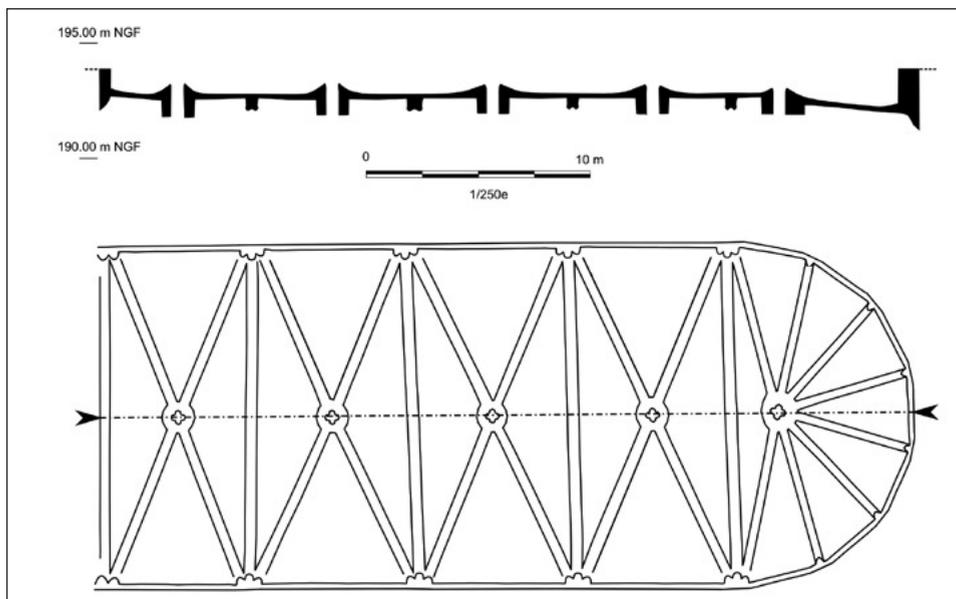


Fig. 5 – Profil en long du sommet de la voûte du chœur; échelle 1/250<sup>e</sup>.

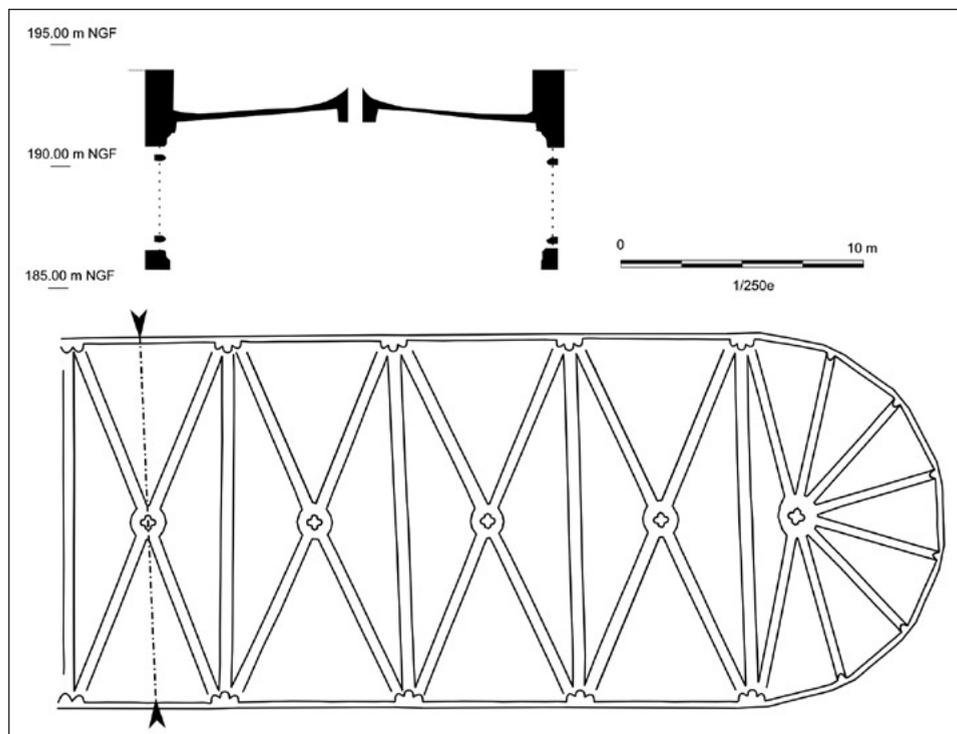


Fig. 6 – Profil en travers de la voûte au milieu des deux premières travées du chœur; échelle 1/250<sup>e</sup>.

les différences dans le profil de la voûte: le profil dessiné par Adams souligne la courbure des voutains, courbure qui en réalité n'est pas visible au sommet de la voûte. Ce document très détaillé nécessiterait donc une campagne de relevés complémentaires afin de compenser ces erreurs. Nous souhaitons aussi scanner ces planches dans un format haute résolution en utilisant un scanner à plan afin d'éviter un travail d'assemblage qui pourrait être une source d'erreur.

## 5. CONCLUSION

D'autres plans<sup>7</sup> de la cathédrale n'ont pas été cités jusqu'ici car ils ne concernent que le sol de l'édifice. Ces plans mériteraient aussi d'être vérifiés et géo-référencés afin de pouvoir facilement leur intégrer les nouvelles obser-

<sup>7</sup> Entre autres le plan dit Félibien, le plan de Daniel Ramée ou encore celui de Lassus.

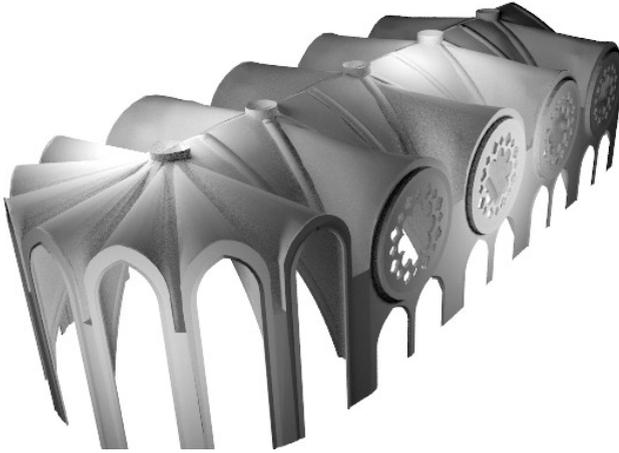


Fig. 7 – Vue en perspective du modèle 3D des parties hautes du chœur.

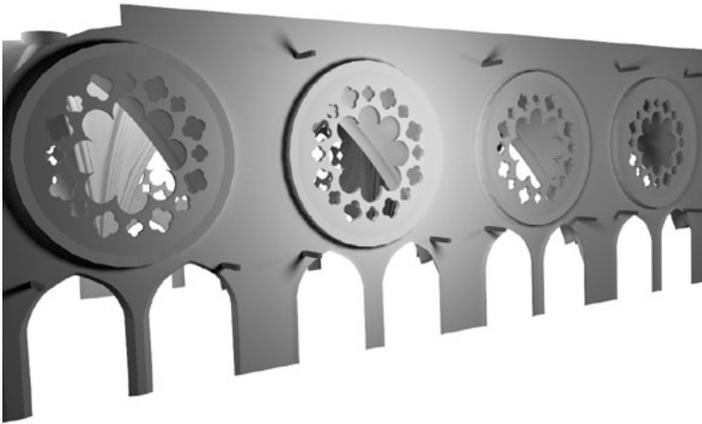


Fig. 8 – Vue en perspective de l'emplacement des trous de boulins sur la façade extérieure Nord du chœur. Des relevés complémentaires permettraient d'obtenir l'épaisseur du mur et de confronter la position de ces trous avec ceux visibles depuis l'extérieur.

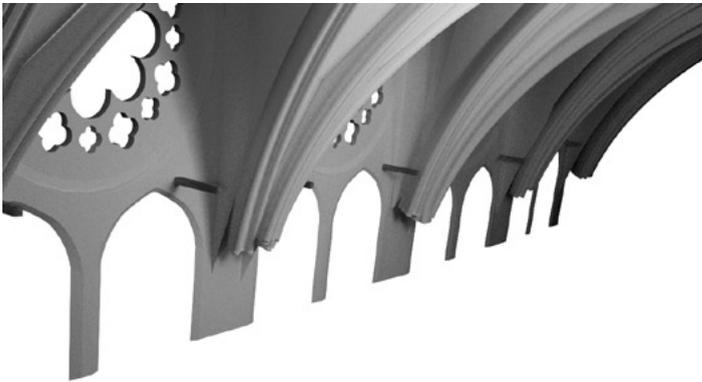


Fig. 9 – Vue en perspective de l'emplacement des trous de boulins depuis l'intérieur du chœur.

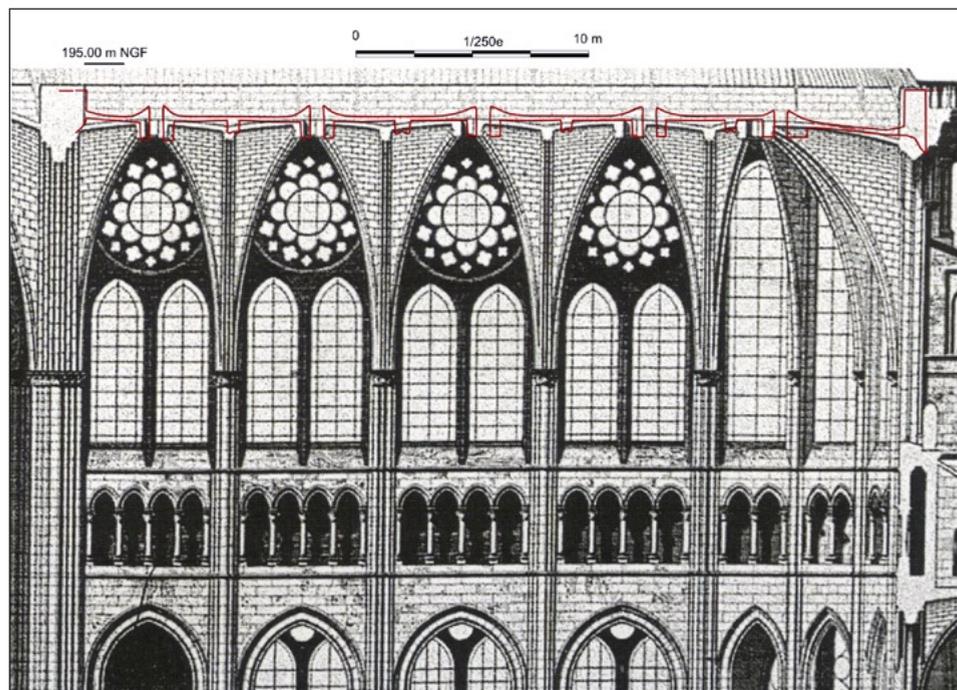


Fig. 10 – Comparaison du profil en long de la voûte avec la coupe longitudinale de J.-B.-A. Lassus.

vations. L'utilisation des outils de modélisation 3D et de géo-référencement des observations archéologiques devient essentielle pour la compréhension d'un monument tel que la cathédrale de Chartres. Plusieurs techniques sont maintenant mises en œuvre pour l'acquisition du maillage de points. Ces techniques permettent l'acquérir des modèles de plus en plus fin et complets et semblent bien adaptées à des monuments complexes tel que la cathédrale Notre-Dame. Cependant nous nous interrogeons sur la possibilité d'obtenir un modèle complet de l'édifice, et surtout de sa maniabilité pour l'analyse, la valorisation et la conservation. Différents programmes de numérisations 3D ont déjà été réalisés sur des monuments historiques, mais aucun n'a été effectué, à notre connaissance, sur la totalité d'un monument aussi riche en détails que la cathédrale de Chartres.

FRANÇOIS FOURIAUX  
Service archéologie de la ville de Chartres

SOURCES IMPRIMÉES

- LASSUS J.-B.-A., AMAURY DUVAL A., DIDRON A.N. 1872, *Monographie de la cathédrale de Chartres*, Paris (seconde édition).  
DURAND P. 1881, *Monographie de la Cathédrale de Chartres, explication des planches*, Paris.

BIBLIOGRAPHIE

- BULTEAU M. 1850, *Description de la cathédrale de Chartres*, Chartres.  
DURAND P., LASSUS J.-B., LENIAUD J.-M. 2006, *Notre-Dame de Chartres*, Paris, Editions Molière.  
FAVIER J. 1988, *L'Univers de Chartres*, Bordas, Paris.  
GAUTHIER N., PICARD J.-Ch. (dir.) 1992, *Topographie chrétienne des cités de la Gaule au milieu du VIII<sup>e</sup> siècle*, t.8, «Province ecclésiastique de Sens (Lugdunensis Segonia)», Paris, Ed. de Boccard.  
HOYER R. 1988, *Documents primordiaux à l'archéologie chartreuse: les plus anciens plans connus de la cathédrale Notre-Dame*, «Bulletin de la Société Archéologique d'Eure-et-Loir», 19, 1-58.  
JAMES J. 1982, *Chartres, les constructeurs*, 3 vol., Chartres, Société Archéologique d'Eure-et-Loir.  
DE LÉPINOIS E., MERLET L. 1862-1865, *Cartulaire de l'église Notre-Dame de Chartres*, 3 vol., Chartres, Garnier.  
LÉVIS-GODECHOT N. 1987, *Chartres, révélée par sa sculpture et ses vitraux*, La Pierre-qui-Vire, Editions Zodiaque.  
MUSÉE DES BEAUX ARTS DE CHARTRES 1994, *La cathédrale dans les collections du musée de Chartres*, Chartres, Musée de Chartres.  
PRACHE A., JOUANNEAUX F. 2000, *Chartres, la cathédrale Notre-Dame*, in *Cathédrales de France* col., Paris, Édition du patrimoine.  
PRACHE A. 1993, *Notre-Dame de Chartres, image de la Jérusalem céleste*, Paris, CNRS/CNMHS.  
SOUCHET J.-B. 1867, *Histoire du diocèse et de la ville de Chartres*, Société Archéologique d'Eure-et-Loir, Chartres.

ABSTRACT

During the restoration work conducted on the original decoration in the heart of the cathedral of Chartres, the archaeological service of the city of Chartres conducted a series of surveys and made a study of the evidence left from the various phases of construction. A general overview of the masonry (vaults, high windows, and triforium) was completed by means of a research project and precise survey of the location of the putlog holes and the holes in the vault. From the detailed manual survey it was possible to create a complete three dimensional topographical plan and thanks to this data, to create a precise model of those parts of the cathedral showing the irregularities in construction like the width of the bays, the height of the vaults, the diameters of the rosettes, the height of the lancet windows. This set of information was georeferenced and compared to the architectural plan that had been drawn by J.-B.-A. Lassus (1807-1857) and published in 1842. This method allowed us to define and correct this latter document which turned out to be more a stylistic analysis than a precise topographical survey. The final report on this operation has not yet been completed but in this article we are offering a presentation of the methodology applied and the first results.

