

## La structure de la cathédrale de Chartres

---

Andrew Tallon

Le stigmate d'une sur-construction, d'une masse inutile, voire d'une certaine maladresse pèse toujours sur l'interprétation de la structure de la cathédrale de Chartres<sup>1</sup>. Il est temps aujourd'hui de dépasser ces explications malheureuses et de réhabiliter la réception de la structure du bâtiment, à l'image d'autres facettes révélées au cours de ces dernières années.

La structure de la cathédrale Chartres ne doit plus être envisagée, dans le cadre de comparaisons unilatérales, en faveur d'un éloge du premier maître de la cathédrale de Bourges<sup>2</sup>, ni limitée à un indice chronologique pratique sinon trompeur au cœur d'un débat perdurant depuis plus d'une cinquantaine d'années. Elle ne doit pas plus être envisagée comme le produit d'une peur intense de l'échec face à un déploiement inédit de fenêtres hautes. Au contraire, la structure de la cathédrale de Chartres doit être vue dans le contexte d'un ensemble architecturale : elle résulte à la fois d'un système précisément pensé, voire brillant, conçu non seulement pour résister parfaitement aux forces affaiblissantes du temps et de la gravité – ce que nous nous efforcerons de montrer à l'aide d'un relevé laser haute-définition entrepris en juin 2011 (fig. 1 et 2) – mais aussi d'une structure illusionniste, une évocation puissante de la sublime architecturale<sup>3</sup>.

---

1.- Voir, en particulier, R. MARK et W. CLARK, « Gothic Structural Experimentation », *Scientific American*, 251, 5, 1984, p. 176-185.

2.- R. MARK, *Experiments in Gothic Structure*, Cambridge, Mass., 1982, p. 34-49. Il fut en cela critiqué par J. JAMES, « Review: *Experiments in Gothic Structure* », *Speculum*, 59, 3, 1984, p. 677-681. R. Mark, selon J. James, a envisagé Chartres comme si ses constructeurs ne savaient rien des arcs-boutants – pourtant le bâtiment, contrairement à beaucoup de ses contemporains, a mieux survécu les sept siècles derniers grâce à une structure robuste. J. James a par ailleurs protesté contre le fait que R. Mark a évoqué la sophistication structurale de Bourges « [...] comme s'il s'agissait d'une solution que tous les maçons médiévaux auraient du suivre. »

3.- Le relevé laser a été subventionné par la Fondation Andrew W. Mellon aux États-Unis dans le contexte du projet *Mapping Gothic France* (<http://mappinggothic.org>) mené avec le Prof. Stephen Murray, Columbia University. J'aimerais remercier les personnes suivantes pour leur aide : Nicole Griggs, Antoine Billault, Gilles Fresson, Benjamin Outrey, Josh Sakolsky,



Fig. 1 : Chartres, cathédrale. Vue générale. Relevé laser, juin 2011. © A. Tallon.

Bien qu'il soit tentant de plonger directement dans le matériel fourni par le relevé laser, nous commencerons par un état de la question sur la littérature concernant la structure de Chartres. Cela ne vient pas d'un désir de rigueur mais plutôt du fait que, comme Jan van der Meulen l'a noté il y a trente ans avec son acerbité caractéristique, les lacunes inhérentes à cette discussion sont importantes – les idées n'ont pas été bien transmises<sup>4</sup>. Un regard critique sur cette littérature ainsi que l'apport des découvertes de ces dernières années en matière de structure gothique, en particulier l'arc-boutant, permet d'apprécier avec plus de finesse la cathédrale de Chartres.

L'histoire commence avec Viollet-le-Duc, dont le compte-rendu structurel de la cathédrale de Chartres, même s'il n'était pas le premier, a été déterminant

---

Patrice Calvel, Jean-Pierre Blin, Pascal Chauveau, Xavier Clarke de Dromantin, et toute l'équipe de la cathédrale.

4.– J. VAN DER MEULEN, R. HOYER et D. COLE, *Chartres, Sources and Literary Interpretation: a Critical Bibliography*, Boston, 1989, p. 33.

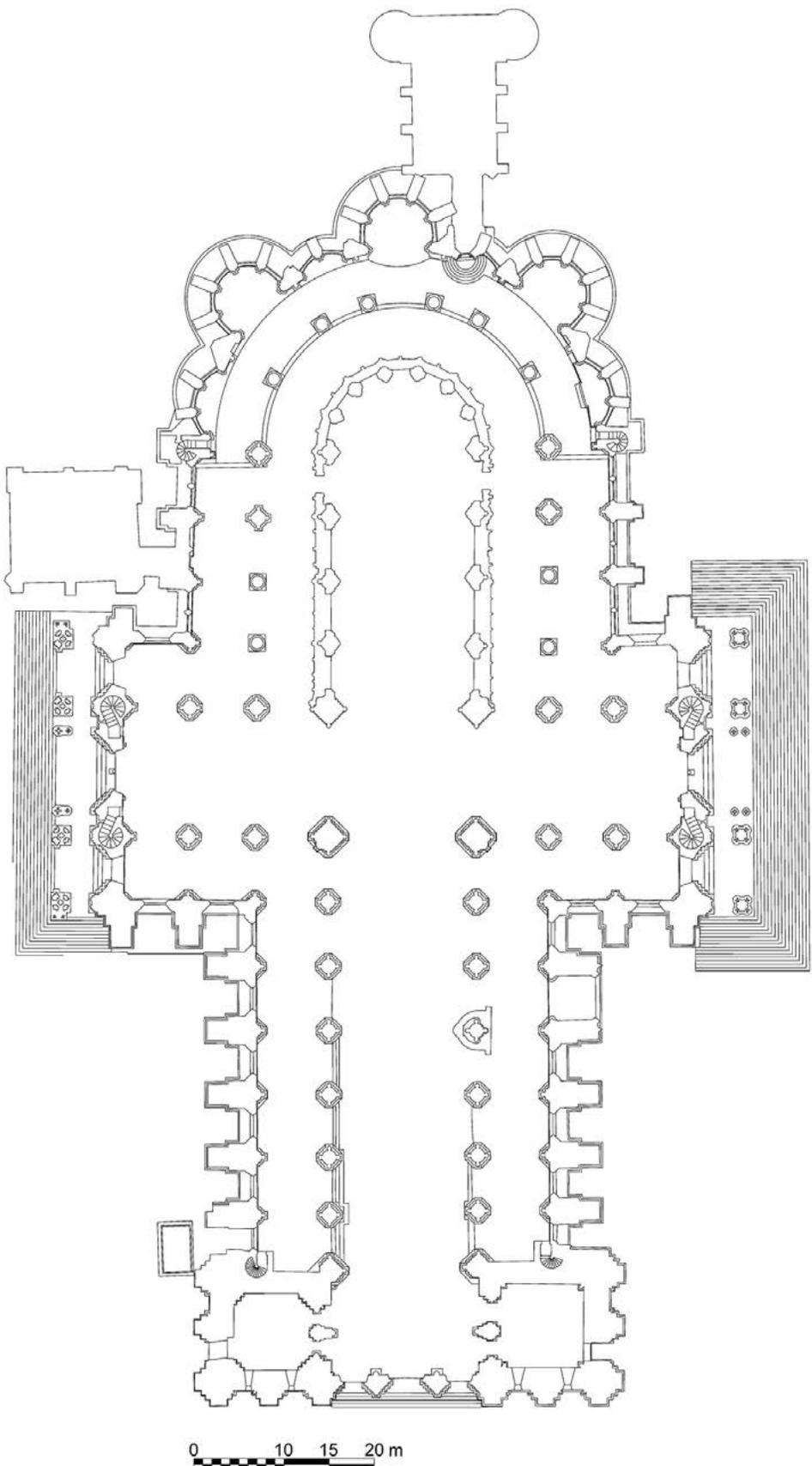
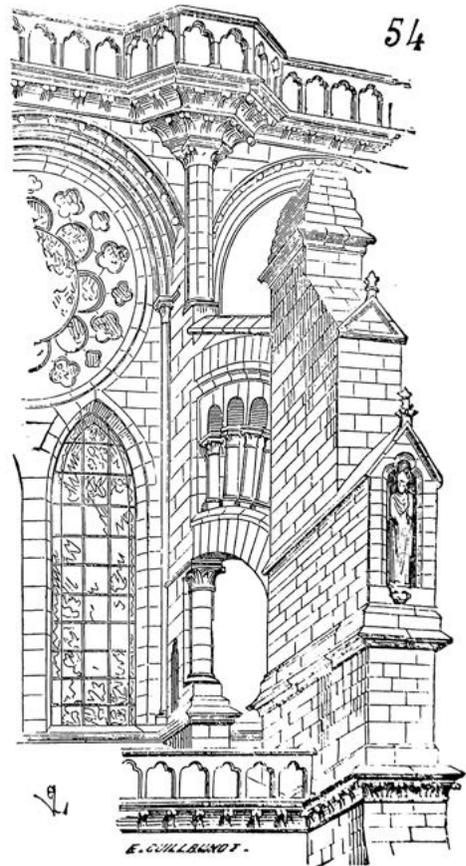


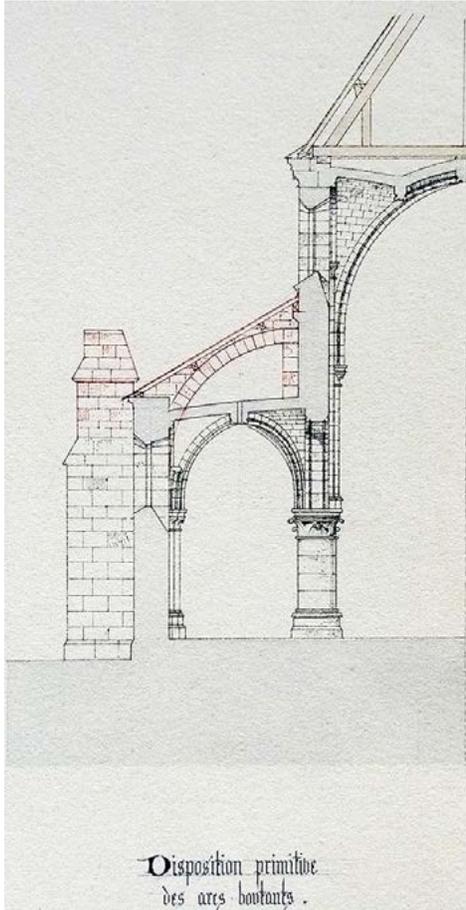
Fig. 2 : Chartres, cathédrale. Plan au sol. del Destin Mc Murry et A. Tallon. © A. Tallon.

et influent<sup>5</sup>. Il n'est pas exagéré d'affirmer que la teneur de la discussion qui s'est engagée tout au long du siècle suivant a été établie par ses mots, mais aussi par une étrange image, une vue du flanc de la nef de Chartres sur laquelle l'arc-boutant supérieur a été enlevé (fig. 3)<sup>6</sup>. Dans la proposition de Viollet-le-Duc la culée se termine par ce qui était en apparence une improbable pyramide en gradins, témoignage tacite du fait qu'il pensait que l'arc-boutant sommital avait été ajouté *a posteriori*. Pour ne donner qu'un exemple de l'impact de cette image, nous retrouvons la culée « clonée » dans un dessin daté de 1887 réalisé par Victor Petitgrand, pour la reconstruction du système de contrebutement d'une église n'ayant aucun rapport avec Chartres, Saint-Vaast d'Angicourt (fig. 4)<sup>7</sup>.



**Fig. 3 :** Chartres, cathédrale. Vue hypothétique d'un arc boutant de la nef. E.-E. Viollet-le-Duc, « Arc-boutant », *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*, Paris, vol. 1, 1854, p. 65, fig. 54.

- 5.- E.-E. VIOLLET-LE-DUC, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*, Paris, t. 1, 1854, « arc-boutant », p. 60-83. En particulier : p. 65.
- 6.- Pour comprendre le cheminement du dessinateur : F. BOUDON, « Le réel et l'imaginaire chez Viollet-le-Duc : les figures du Dictionnaire de l'architecture », *Revue de l'art*, 1983, p. 95-114. Pour complément : A. TIMBERT, « Les illustrations du Dictionnaire raisonné : le cas de la cathédrale de Noyon et des églises de l'Oise », *Viollet-le-Duc à Pierrefonds et dans l'Oise-Viollet-le-Duc at Pierrefonds and in the Oise region*, Actes du colloque international, 6-7 juin 2007, dir. J.-P. Midant, Paris, 2008, p. 97-108.
- 7.- La coupe a été publiée dans : A. DE BAUDOT, *Églises de bourgs et villages*, Paris, vol. 1, 1867, pl. 5, et dans A. DE BAUDOT et A. PERRAULT-DABOT, *Archives de la Commission des Monuments Historiques*, série 2, vol. 1, 1898-1903, pl. 35.



**Fig. 4 :** Angicourt, église Saint-Vaast. Dessin d'une coupe hypothétique par Victor Petitgrand, 1887. Médiathèque de l'architecture et du Patrimoine : 82/60/9587.

En ce qui concerne le texte qui accompagne son dessin, Viollet-le-Duc y évoque la « force remarquable » du bâtiment, dont les voûtes ont une « épaisseur inusitée (40 cm environ) » ce qui avait rendu nécessaire, étant donné la portée de « pas moins de 15 mètres d'ouverture, d'établir des butées énergétiques, bien assises...<sup>8</sup> ». Le rôle de l'arc-boutant supérieur n'a pas été spécifiquement abordé, sinon pour le chœur, afin de souligner son usage pour l'écoulement des eaux pluviales<sup>9</sup>.

En 1900, Victor Mortet a fourni une explication à l'absence d'arc-boutant supérieur sur dessin de Viollet-le-Duc<sup>10</sup>. Celle-ci est fondée sur une interprétation de l'expertise de 1316, durant laquelle un groupe de maçons, appelé pour évaluer l'état de la cathédrale, aurait envisagé une série d'arcs-boutants sommitaux. Or, ceux-ci s'avèrent être, lorsque le texte est correctement interprété, déjà en place et nécessitent tout simplement un rejointoiement. Mortet, toutefois, a écrit que « [...] c'est donc à la suite de l'expertise de 1316 qu'on fut

8.- E.-E. VIOLLET-LE-DUC, « Arc-boutant », *op. cit.*, 1854, p. 65.

9.- *Ibidem*, 1854, p. 71-72.

10.- V. MORTET, « L'expertise de la cathédrale de Chartres en 1316 », *Congrès archéologique de France*, Chartres, 1900, 67, 1901, p. 308-29.



**Fig. 5 :** Chartres, cathédrale. Coupe transversale comparative à travers le chœur (à gauche) et la nef (à droite). Relevé laser, juin 2011. © A. Tallon.

obligé d'ajouter au droit de chaque doubleau un arc-boutant supérieur, qui vient s'appuyer d'un côté sur le sommet primitif des culées et de l'autre sur la corniche de la nef<sup>11</sup>. » Son analyse du texte est rapidement vulgarisée grâce à sa parution dans un petit livre publié en 1909 par René Merlet dans la série *Petites monographies des grands édifices de la France*<sup>12</sup>.

Le système boutant allait bientôt assumer un rôle prépondérant dans ce qui deviendrait une polémique, longue de plusieurs décennies, concernant la chronologie de la construction. E. Lefèvre-Pontalis a fait un premier pas en remarquant

11.– *Ibidem*, p. 314 n. 2.

12.– R. MERLET, *La cathédrale de Chartres, Petites monographies des grands édifices de la France*, Paris, 1909, p. 47. M. JUSSELIN, « La maîtrise de l'œuvre à Notre-Dame de Chartres : la fabrique, les ouvriers et les travaux du XIV<sup>e</sup> siècle », *Mémoires de la Société archéologique d'Eure-et-Loir*, 15, 1922, p. 233-347 (en particulier : p. 321 n. 3), fait plusieurs corrections du texte tel qu'il a été transcrit et traduit par Mortet, mais il n'a pas vu cette erreur fondamentale.

que les arcs-boutants du chœur paraissaient plus récents que ceux de la nef (fig. 5)<sup>13</sup>. Une décennie plus tard, H. Kunze contra cette idée. Selon lui les arcs-boutants étaient trop « exceptionnels » pour permettre de juger de la chronologie du bâtiment, et a suggéré que l'ensemble du système de contrebutement du chœur pourrait bien avoir été reconstruit au XIV<sup>e</sup> siècle<sup>14</sup>. L'échange de salves le plus intense eut lieu dans les années 1950, entre L. Grodecki et P. Frankl : le premier défendait l'idée d'une construction de la « nef en premier », le second la thèse opposée<sup>15</sup>.

Une autre piste apparaît au même moment dans la discussion. Elle semble avoir été introduite quelques années auparavant par R. de Lasteyrie : il y avait à Chartres « [...] pour la première fois l'emploi logique de l'arc-boutant, prévu dès la plantation de l'édifice, avec toutes les conséquences qui en découlent<sup>16</sup>. » Ceci a été écrit au cœur de la période la plus intense de la négation de l'usage précoce et généralisé de l'arc-boutant, négation menée par E. Lefèvre-Pontalis et suivie presque religieusement par l'ensemble de la corporation. Pour les chercheurs, Chartres était le seul point de référence sûr dans un paysage confus fait de rénovations et d'expériences<sup>17</sup>. Il aurait été plus approprié de remplacer le mot « logique » par « esthétique » ; les arcs-boutants de Chartres niaient, par l'historicisme d'une roue à rayons mise en résonance avec la grande rose de la façade ouest, le modernisme de la première grande vague d'arcs-boutants érigés à Sens ou à Notre-Dame de Paris<sup>18</sup>. Et ils confirmaient un changement esthétique profond qui devenait rapidement une des marques du style gothique. Non pas comme une expression ouverte des forces en jeu, la « squeletisation » de la structure – une idée issue d'une époque plus tardive – mais plutôt comme l'obscurisation de l'espace extérieur, comme la transformation d'une enveloppe jusqu'à présent sans relief vers une étendue d'ombres et de lumières en perpétuel mouvement.

Subsistent encore en coulisses les arcs-boutants supérieurs, apparemment pensés après-coup, qui volaient au visage d'un système esthétique soigneusement orchestré pour proclamer la puissance structurelle de l'édifice (fig. 6).

13.– E. LEFÈVRE-PONTALIS, « Les architectes et la construction des cathédrales de Chartres », *Mémoires de la Société nationale des Antiquaires de France*, 4, 1905, p. 113.

14.– H. KUNZE, *Das Fassadenproblem der französischen Früh- und Hochgotik*, Leipzig, 1912, p. 37.

15.– L. GRODECKI, « The Transept Portals of Chartres Cathedral: The Date of Their Construction According to Archaeological Data », *Art Bulletin*, 33, 3, 1951, p. 134-5, n. 18 ; P. FRANKL, « The Chronology of Chartres Cathedral », *Art Bulletin*, 39, 1957, p. 34.

16.– R. DE LASTEYRIE, *L'architecture religieuse en France à l'époque gothique*, Paris, vol. 1, 1926, p. 368. La phrase a souvent été reprise par les chercheurs.

17.– E. LEFÈVRE-PONTALIS, « L'origine des arcs-boutants », *Congrès archéologique de France*, Paris, 1919, 82, 1920, p. 367-396.

18.– Sur les arcs-boutants de la cathédrale de Sens, voir J. HENRIET, « La cathédrale de Sens : le parti du premier maître et les campagnes du XII<sup>e</sup> siècle », *Bulletin monumental*, 140, 1982, p. 81-174. Pour ceux de la cathédrale de Paris : A. TALLON, « Archéologie spatiale : le bâtiment gothique relevé (et révélé) par laser », *Architecture et sculpture gothiques : renouvellement des méthodes et des regards*, Actes du colloque de Noyon, 19-20 juin 2009, dir. S. D. Daussy et A. Timbert, Rennes, 2012, p. 63-75 ; et D. SANDRON et A. TALLON, *Notre-Dame de Paris*, Paris, 2013, p. 36-43.

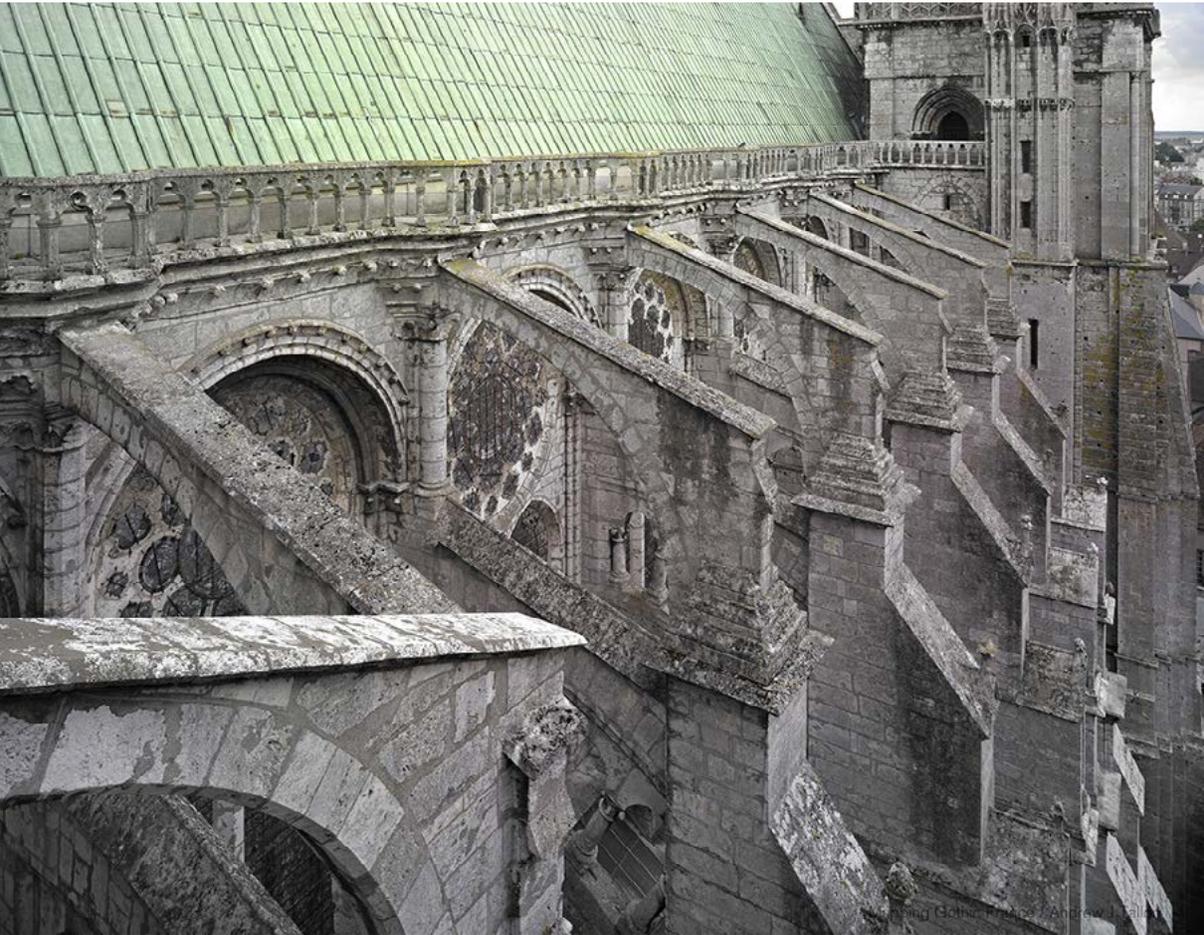


Fig. 6 : Chartres, cathédrale. Flanc sud de la nef. © A. Tallon.

Que pourrait être leur raison d'être ? Dans sa réédition du *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen* de Georg Ungewitter, Karl Mohrmann a suggéré pour la première fois que le niveau supérieur des arcs-boutants des édifices gothiques, qui n'étaient manifestement pas destinés à recevoir la poussée des voûtes étant donné qu'ils étaient placés trop haut, étaient en fait destinés à fonctionner comme des étais contre la charge du vent transmise à la structure par le toit<sup>19</sup>. En 1944, K. Conant reprend cet argument au profit de Chartres<sup>20</sup>.

19.- G. UNGEWITTER, *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen*, éd. K. MOHRMANN, 3<sup>e</sup> éd., Leipzig, 1890, vol. 1, p. 166. Voir aussi la quatrième édition du même (1901), vol. 1, p. 172-73. L'idée a été reprise par M. HASAK, *Der Kirchenbau des Mittelalters*, 2<sup>e</sup> éd., Leipzig, 1913, p. 191, et par G. ROSENBERG, « The Functional Aspects of the Gothic Style, Part I », *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 3<sup>e</sup> série, 43, 6, 1936, p. 282-83.

20.- K. CONANT, « Observations on the Vaulting Problems of the Period 1088-1211 », *Gazette des Beaux-Arts*, 6<sup>e</sup> série, 26, 1944, p. 133-34. K. Conant ne fait pas référence au travail de Mohrmann, Hasak, ou Rosenberg. Voir aussi J. MAUNOURY, *Chartres, the Cathedral and the City*, Paris, 1950, p. 42, qui ne semble non plus avoir eu connaissance des publications de ses prédécesseurs sur la fonction de l'arc-boutant supérieur. J. FITCHEN, « A comment on the function of the upper flying buttress in French Gothic architecture », *Gazette des Beaux-Arts*, 45, 1955, p. 75, reprend l'idée.

Ce fut certainement une réponse satisfaisante, mais qui posait une autre question : quand avaient-ils été installés ? M. Aubert a fait valoir en 1950 qu'ils avaient été mis en place non pas *a posteriori*, mais bien au cours de la construction, sans être plus précis<sup>21</sup>. Louis Grodecki a réitéré cette idée après un examen attentif des arcs-boutants de la nef et du chœur en 1958<sup>22</sup>. Il a en outre constaté des citations de la forme des arcs-boutants supérieurs de Chartres sur des bâtiments contemporains – par exemple à Saint-Laumer de Blois – ne pouvant que signifier qu'ils avaient été mis en place assez tôt durant les campagnes de construction de la cathédrale<sup>23</sup>. Grodecki introduit par ailleurs dans le débat les arcs-boutants du transept (fig. 7), qu'il considérait être des prototypes dépouillés, des expériences préfigurant les arcs du chœur dont la forme semblait indiquer un court laps de temps entre la nef et le chœur<sup>24</sup>. Il a conclu que les arcs-boutants du chœur étaient des versions simplifiées et allégées de ceux de la nef, une transformation conduite par un impératif structurel : le système de contrebutement, parce qu'il devait traverser à la fois le déambulatoire et les chapelles rayonnantes, tout en étant uniquement soutenu par une culée intermédiaire posée au-dessus d'une des colonnes du déambulatoire, ne pouvait pas être aussi lourd que le système déployé dans la nef<sup>25</sup>.

L'argument a été affiné l'année suivante par le chanoine Delaporte, dans ce qui était peut-être la plus importante – mais pratiquement méconnue – contribution à cette question toujours plus complexe. Delaporte a proposé que l'architecte responsable de la création des arcs-boutants du transept fût en fait motivé par un désir d'harmoniser la nouvelle forme des arcs-boutants du chœur avec celle de ceux de la nef, afin que les éléments historicisants de cette dernière soient mêlés avec la forme épurée du chœur et se fondent l'un dans l'autre<sup>26</sup>.

Un aspect essentiel, négligé jusqu'à présent dans la discussion – et encore aujourd'hui – est le fait que les arcs-boutants du chœur étaient également économiques, étant donné que leurs formes prismatiques étaient plus faciles à produire. L'apparente modernité de ces arcs-boutants pourrait donc d'avantage être liée à une question de rentabilité et de facilité de production (un facteur significatif étant donné la rapidité avec laquelle le bâtiment était érigé) plutôt

21.– M. AUBERT, *La cathédrale de Chartres*, Paris, 1952, p. 14.

22.– « C'est à l'époque de la construction seulement que l'on pouvait penser que la poussée des charpentes et de la couverture, et les efforts latéraux auxquels les exposait le vent, devaient être neutralisés par ces « volées hautes » sans rapport avec la structure des voûtes ». L. GRODECKI, « Chronologie de la cathédrale de Chartres », *Bulletin monumental*, 116, 1958, p. 99 n. 1.

23.– *Ibidem*, 1958 p. 99 n. 2.

24.– *Ibid.*, p. 100 n. 1 et 101-103. P. FRANKL, « Reconsiderations on the Chronology of Chartres Cathedral », *Art Bulletin* 43, no. 1, 1961, p. 51-58, conclut, en réponse, que les arcs-boutants auraient seulement pu avoir été tous conçus en même temps. Aussi ne pouvaient-ils pas être utilisés pour évaluer la chronologie.

25.– L. GRODECKI, *op. cit.*, 1958, p. 105.

26.– Y. DELAPORTE, « Remarques sur la chronologie de la cathédrale de Chartres », *Bulletin de la Société archéologique d'Eure-et-Loir*, 21, 1959, p. 299-320. Pour aller plus loin sur l'expertise de 1316, voir J. VAN DER MEULEN, « Die Kathedrale im Verfall. Chartres und die Expertise von 1316 », *Akten des XXV. Internationalen Kongresses für Kunstgeschichte*, Wien, 4-10 septembre 1983, éd. Hermann Fillitz et Martina Pippal, Vienne, 1985, vol. 9, p. 53-64.



Fig. 7 : Chartres, cathédrale. Arc-boutant du transept sud, face est. © A. Tallon.

qu'à une question de style – à une inconfortable « anticipation » chronologique du rayonnant, par exemple.

Delaporte a apporté deux autres contributions essentielles à la discussion : tout d'abord, il a fini par clarifier l'interprétation erronée de l'expertise de 1316. Les arcs-boutants supérieurs étaient présents lors de l'expertise et étaient simplement notifiés comme étant en mauvais état<sup>27</sup>. Deuxièmement, il a cité

27.– Y. DELAPORTE, *op. cit.*, 1959, p. 303 n. 1. P. FRANKL, *The Gothic: Literary Sources and Interpretations Through Eight Centuries*, Princeton, 1960, p. 58, emboîte le pas derrière

un rapport inédit de pré-restauration de la partie supérieure du chœur faite par le chanoine Brou : « nous avons constaté, » écrit Brou, « que les dalles qui recouvrent l'arc-boutant supérieur font partie de la corniche dans toute l'abside et même pour le chœur... les arcs-boutants du pourtour du chœur remontaient à l'époque de la cathédrale parce qu'ils viennent buter dans les corbeilles<sup>28</sup>. » En d'autres termes, les arcs-boutants, et par conséquent les tours qui les ancrent, ont été construits au même moment que les parties hautes du chœur et de l'hémicycle.

En 1967, J. van der Meulen notait, entre autres observations, que la voûte principale était « sensiblement plus épaisse et plus lourde dans la nef ». Sa conclusion : il y a eu « une exécution cohérente des diverses parties jusqu'à la ligne de retombée des voûtes, suivie d'un rapide voûtement de la nef, mais d'un report de la construction des voûtes du chœur jusqu'à ce que, soit un changement de maître, soit d'autres circonstances (comme un laps de temps) apportent un changement de goût et une amélioration de la technique<sup>29</sup>. »

Comme il s'avère, les voûtes ne sont pas d'une épaisseur égale – ce qui n'est pas surprenant pour une coque complexe en trois dimensions – et l'« épaisseur inusitée » de 40 cm décrite par Viollet-le-Duc est plus importante qu'il ne le pensait. Les données de la scanographie laser révèlent que les voûtes, à mi-chemin entre la clef et le mur gouttereau, ont à peu près 60 cm d'épaisseur dans la nef et 66 cm dans le chœur (la chape de béton coulée sur l'extrados après le grand feu de 1836 incluse)<sup>30</sup>. Pour prendre un autre point arbitraire, à 4,7 mètres au sud de la clef de voûte, l'épaisseur dans la nef est de 55 cm et de 61 cm dans le chœur. Ce qui est intéressant ce n'est pas tant que les voûtes les plus épaisses (et donc plus lourdes) soient dans le chœur (fig. 9), malgré un système de contrebutement plus fin, mais plutôt qu'il y ait une différence entre les voûtes de la nef et celles du chœur. Ceci semble indiquer que van der Meulen, comme P. Kurmann, B. Kurmann-Schwarz et Cl. Lautier après lui, qui supposaient que les voûtes du chœur avaient été commencées quelques décennies plus tard, étaient sur la bonne piste<sup>31</sup>. Il y a d'ailleurs une différence dans les retombées des voûtes (fig. 8) : dans la nef, le niveau de l'abaque du chapiteau haut est constant avec des variations par deux fois de l'ordre de 5 cm ; dans le chœur, les abaquages sont implantés entre 20-25 cm plus bas que dans la nef. En ce qui concerne les clefs de voûte, leur élévation varie de +/- 10 cm dans l'ensemble de la nef et du chœur. Pourtant, il y a, entre ces deux espaces, peu de différence dans la courbe des nervures (fig. 9) : les voûtes des deux parties pourraient avoir été construites en utilisant les mêmes cintres. Une telle similitude géométrique semble conforter l'opinion

---

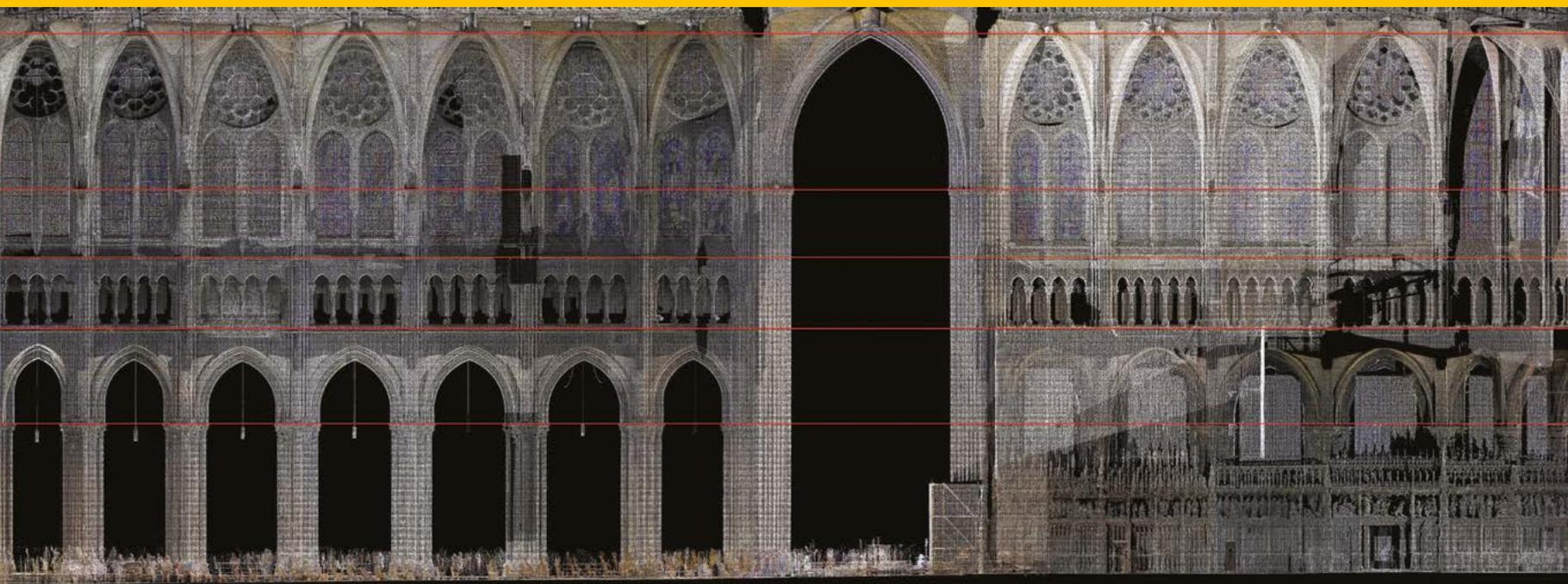
Delaporte dans la réinterprétation du texte, fournissant la première traduction en anglais.

28.– Y. DELAPORTE, *op. cit.*, 1959, p. 304, n. 1.

29.– J. VAN DER MEULEN, « State of Research: Recent Literature on the Chronology of Chartres Cathedral », *Art Bulletin* 49, 2, 1967, p. 158.

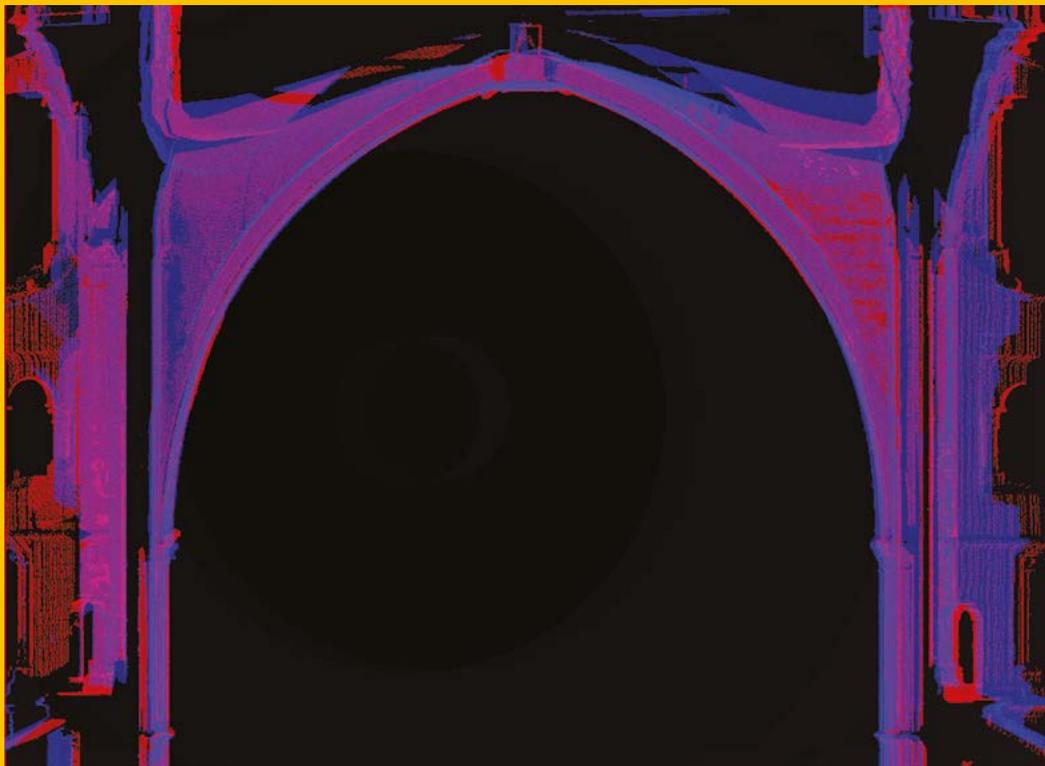
30.– Sur cette question, voir dans le présent volume la contribution de A. Timbert, « L'incendie de 1836 et ses conséquences matérielles à l'usage des médiévistes. »

31.– B. KURMANN-SCHWARZ et P. KURMANN, *Chartres, la cathédrale*, Saint-Leger-Vauban, 2001, p. 119-121 ; CL. LAUTIER, « Restaurations récentes à la cathédrale de Chartres et nouvelles recherches », *Bulletin monumental*, 169, 1, 2011, p. 3-11.



**Fig. 8** : Chartres, cathédrale. Élévation intérieure nord. Relevé laser, juin 2011. © A. Tallon. Les lignes horizontales correspondent aux niveaux suivants :

- a) clefs de la voûte haute ;
- b) retombées de la voûte haute ;
- c) base des fenêtres hautes ;
- d) base du triforium ;
- e) abaques de l'arcade principale ;
- f) niveau du sol du chœur.



**Fig. 9 :** Chartres, cathédrale. Superposition des nervures de la voûte principale de la nef et du chœur. Relevé laser, juin 2011. © A. Tallon. En bleu, la nervure du chœur qui s'étend du pilier 5 (nord) au pilier 6 (sud) ; en rouge, celle de la nef qui s'étend du pilier 13 (nord) au pilier 14 (sud).



**Fig. 10 :** Chartres, cathédrale. Maquette photoélastique de la nef. Robert Mark, *Experiments in Gothic Structure*, Cambridge, Mass., 1982, pl. 2.

selon laquelle les voûtes du chœur auraient été terminées peu après celles de la nef – avant 1221, date à laquelle les chanoines ont pu prendre possession de leurs stalles<sup>32</sup>.

En 1967 également, J. Villette posait la question suivante : « Les arcs-boutants supérieurs de la cathédrale de Chartres sont-ils inutiles ? » Sa réponse, qui se lit comme un résumé de la plupart des informations présentées jusque-là, était négative, mais aussi surprenante. « Si un incendie se déclare, » écrivait J. Villette, « dans une charpente de taille considérable comme celles de nos cathédrales, et si par malheur les entrants sont atteints les premiers, rien n'empêche plus les deux versants de s'ouvrir en repoussant les murs gouttereaux<sup>33</sup>. » Il notait que ces arcs-boutants supérieurs ont sûrement joué un rôle essentiel lors de l'incendie de 1836, mais qu'ils étaient « d'une utilité fort réduite en temps normal », ce qui rend cette idée un peu difficile à accepter, bien que fascinante<sup>34</sup>.

Au début des années 1970, l'ingénieur R. Mark a été l'initiateur d'un voyage passionnant mais finalement capricieux de deux décennies à travers une analyse structurelle moderne<sup>35</sup>. Lui-même et son co-auteur, A. Borg, n'ont pas vu le travail de Y. Delaporte et semblent ne pas avoir lu J. Villette avec soin : leur article de 1973 est présenté comme si la question, à savoir si oui ou non les arcs-boutants avaient été ajoutés au moment de l'expertise, était encore ouverte. Déduire d'un modèle photoélastique assez imprécis (fig. 10) que le système de contrebutement de Chartres était « lourd et même maladroit<sup>36</sup> », et que la rangée supérieure des arcs-boutants n'a pas pleinement allégé les zones de tension introduites dans le modèle par des hypothétiques poussées du vent, n'était pas particulièrement constructif<sup>37</sup>.

Une partie du bâtiment, visible dans la coupe transversale (fig. 5), doit être examinée dans le contexte de cette évaluation négative : le soi-disant « mur boutant » construit dans les combles des bas-côtés de la nef et du chœur. Accepter cette désignation de « mur boutant » c'est être confronté avec un autre phénomène factice du rationalisme structurel : un élément en pierre aligné derrière les retombées des voûtes n'aurait pu être conçu que pour contrebuter. Dans le récit structurel standard du gothique, dans lequel l'arc-boutant évolue du mur boutant triangulaire caché sous les combles des bas-côtés, comme à

32.– Voir, dans le présent volume, les contributions de Michel Bouttier et Arnaud Ybert.

33.– J. VILLETTE, « Les arcs-boutants supérieurs de la cathédrale de Chartres sont-ils inutiles ? » *Bulletin des sociétés archéologiques d'Eure-et-Loir*, 25, 10, 1967, p. 174.

34.– *Ibidem*, 1967, p. 174.

35.– A. BORG et R. MARK, « Chartres Cathedral: A Reinterpretation of its Structure », *Art Bulletin*, 55, 1973, p. 367. R. Mark avait entrepris une étude précédente de Chartres : TH. M. RAUCH, JR. et R. MARK, « Model Study of Buttrassing the Piers in Chartres Cathedral », *Gesta*, 6, 1967, p. 21-24. Une étude de Chartres moins connue, utilisant la méthode des éléments finis, avec des résultats tout aussi peu concluant, a été entreprise par L. KÜBLER, « Computeranalyse der Statik zweier gotischer Kathedralen », *Architectura*, 2, 1974, p. 97-111. Voir aussi R. MARK, *op. cit.*, 1982, p. 34-41.

36.– R. MARK et W. CLARK, *op. cit.*, 1984, p. 183 ; R. MARK, *Light, Wind and Structure: the Mystery of the Master Builders*, Cambridge, Mass., 1990, p. 112-113. Voir aussi A. BORG et R. MARK, *op. cit.*, 1973, p. 371 et 372.

37.– J. VAN DER MEULEN *et al.*, *op. cit.*, 1989, p. 675.

Saint-Martin-des-Champs – une lecture erronée encouragée par l'accès privilégié mais parfois trompeur donné par la coupe transversale – le mur sous combles de Chartres ne pourrait être qu'un vestige, un signe évident d'une incompétence structurelle (ou d'une peur démesurée d'effondrement) de son architecte<sup>38</sup>. Il était logique, dans ce contexte, que R. Mark et W. Clark aient désigné ces murs comme étant « non nécessaires<sup>39</sup> ». Non nécessaires en fait, du point de vue du contrebutement de la voûte principale, mais pas pour un raidissement latéral, pour le support de la toiture, ni pour le maintien d'une indépendance structurel du système boutant du mur gouttereau<sup>40</sup>.

Ce dernier point demande davantage d'explications : loin d'être incompétent, le maître de Chartres a élaboré un système astucieux – bien que lourd – permettant de s'occuper d'un problème commun aux bâtiments maintenus par des arcs-boutants. Un arc-boutant délivre une poussée au mur gouttereau qui résulte de son propre poids et au degré selon lequel il s'appuie contre ce mur – une force non-négligeable, surtout lorsque l'arc-boutant a été construit avant les voûtes<sup>41</sup>. À Chartres, cette poussée est maîtrisée, car les têtes de l'ensemble du système boutant sont portées en-dessous, en partie par ce mur triangulaire.

R. Mark et A. Borg, en revanche, ont mis en avant deux points essentiels sans rapport avec l'analyse structurelle. Premièrement, puisque l'expertise de 1316 se réfère aux arcs-boutants « qui espaulent les voustes », il est clair qu'une distinction fonctionnelle avait été faite : ceux qui avaient besoin d'un rejointoiement ont été construits pour une autre raison, qui, il est prudent de le supposer, était liée à la poussée du vent de la toiture<sup>42</sup>. Deuxièmement, parce que l'interruption régulière de la coursière à la base du grand toit par des balconnets (fig. 6), soutenus par une série de colonnettes engagées alternativement cylindriques et octogonales, semble une construction improbable en soi, ils ont fait valoir qu'un certain type d'arc-boutant avait été prévu, bien que sa forme précise n'avait été décidée que plus tard<sup>43</sup>.

J. James, dans son œuvre controversé de 1981, a précisé le débat sur ce point : il y a un bloc juste en dessous de la bande florale de la corniche qui a été clairement conçu pour accueillir une simple assise d'arc-boutant (fig. 11)<sup>44</sup>.

38.– A. TALLON, *The Structure of Gothic*, en cours de préparation.

39.– R. MARK et W. CLARK, *op. cit.*, 1984, p. 183.

40.– En plaçant les pannes sur des murs porteurs, les chevrons de la charpente ne reposaient pas sur le mur gouttereau ; toute poussée horizontale était normalisée vers une charge verticale, ce que la construction gothique était parfaitement en mesure de supporter. J. FITCHEN, *The Construction of Gothic Cathedrals*, Chicago, 1961, p. 50-51.

41.– Les voûtes ne peuvent précéder les arcs-boutants, mais les arcs-boutants peuvent précéder les voûtes. Stephen Murray, par exemple, dans son livre sur la cathédrale de Troyes, a documenté une discussion entre le constructeur Jehançon Garnache et ses ouvriers, et une délibération entre l'évêque et le chapitre entreprise en 1494 pour décider dans quel ordre l'arc-boutant et la voûte devraient être installés dans la nef. L'arc-boutant est construit en premier. S. MURRAY, *Building Troyes Cathedral: the Late Gothic Campaigns*, Bloomington, 1987, p. 78-79.

42.– A. BORG et R. MARK, *op. cit.*, 1973, p. 368, n. 12.

43.– *Ibidem*, 1973, p. 367-8.

44.– J. JAMES, *The contractors of Chartres*, Wyong, 1981, p. 475. Le texte de James a été traduit en français par Dominique Maunoury dans une prose plus élégante que l'original :

Que le rampant de l'arc-boutant actuel s'impose au milieu de cette bande florale suggère soit que l'arc-boutant prévu à l'origine était de plus petite taille, même peut-être sans rampant, comme dans les arcs-boutants des parties est de la cathédrale de Canterbury, soit qu'il n'avait pas été clairement pensé quand la corniche a été construite. J. James a observé en outre que construire un ensemble entièrement nouveau et imprévu d'arcs-boutants supérieurs dans la nef aurait été très coûteux, étant donné que des cintres et les échafaudages auraient dû être redéployés<sup>45</sup>.

Quand n'est-il de cette curieuse masse pyramidale à partir de laquelle jaillissent les arcs-boutants supérieurs (fig. 6) ? Jusqu'à présent, les chercheurs



**Fig. 11** : Chartres, cathédrale. Détail de la tête d'un arc-boutant supérieur du flanc sud de la nef. © A. Tallon.

J. JAMES, *Chartres, les constructeurs*, Chartres, 3 vol., 1977-1982. L'hypothèse de J. James d'une construction stratigraphique par de multiples maîtres n'a pas fait l'unanimité, voir : S. MURRAY, « Chartres les constructeurs [review] », *Journal of the Society of Architectural Historians*, 38, 1979, p. 279-281 ; J. VAN DER MEULEN *et al.*, *op. cit.*, 1989, p. 672 ; B. KURMANN-SCHWARZ et P. KURMANN, *op. cit.*, 2001, p. 116-117.

45.- J. JAMES, *op. cit.*, 1981, p. 476.

ont unanimement déclaré que l'arc-boutant avait été inséré – montrant néanmoins des variations quant au temps écoulé avant cette insertion. Et pourtant, il n'y a rien sur le plan archéologique qui suggère de manière irréfutable que l'ensemble n'était pas destiné à être tel qu'il est – même si la transition entre la culée et l'arc-boutant semble manquée à l'élégance du système inférieur. Le désir de trouver des preuves d'une adjonction postérieure a tout à voir ici avec la puissance de l'image publiée par Viollet-le-Duc.

Résumons les faits : il est clair que ces arcs-boutants supérieurs ont été anticipés au niveau de la corniche du mur gouttereau, mais avec une forme différente. Il semble que nous sommes, comme dans le chœur, confronté avec la preuve d'un désir d'accroître la vitesse de construction. Une forme d'arc-boutant plus en harmonie avec le système inférieur aurait pu être abandonnée, trop coûteux ou chronophage dans la campagne de construction rapide de la nef. La forme actuelle très simple, indiquant un apparent retour au modernisme des arcs-boutants de la deuxième moitié du XII<sup>e</sup> siècle, était produite rapidement et par une nouvelle équipe : la présence de marques lapidaires, inexistantes sur les arcs inférieurs, en témoigne<sup>46</sup>. Le temps passé entre ce changement de conception et l'exécution des nouveaux arcs-boutants est impossible à établir dans l'état de nos connaissances, mais il n'a pu être très long.

Il pourrait aussi être argumenté qu'une série originelle d'arcs-boutants plus appropriée au point de butée prévue sur la corniche, ait été remplacée par celle présente aujourd'hui. Néanmoins, cette explication est moins plausible pour deux raisons : le coût d'érection de nouveaux cintres, un point évoqué ci-dessus par J. James ; et, surtout, une absence complète de faiblesse dans les parties hautes du bâtiment (infirmant toute raison évidente pour cet éventuel remplacement), un argument avancé par J. Villette<sup>47</sup>. En outre, ce remplacement aurait dû avoir lieu avant 1316 et même bien avant, étant donné que les arcs-boutants supérieurs semblent avoir été imités dans certaines églises contemporaines des alentours, Bonneval par exemple, comme L. Grodecki l'écrivait en 1958 (cf. *infra*).

Nous devons maintenant revenir à notre objectif initial : comprendre la structure de Chartres comme la somme d'un ensemble complexe de forces, à la fois structurelles et esthétiques (fig. 12). L'extérieur de la cathédrale a été conçu pour afficher un travail structurel, pour marquer l'esprit, comme l'a dit J. Bony, par « un motif nécessaire et surhumain de forces ordonnées »<sup>48</sup>. La masse de la cathédrale n'est pas le résultat d'une peur de l'échec structurel, mais plutôt celui d'un désir de surpasser l'existant, pour atteindre le sublime par le biais d'une échelle colossale<sup>49</sup>. Pourtant, le système structurel doit être placé dans un autre contexte essentiel : celui des leçons apprises par les constructeurs gothiques

46.– Nous sommes reconnaissant à Arnaud Timbert de nous avoir indiqué la présence de ces marques.

47.– J. VILLETTE, *op. cit.*, 1967, p. 170.

48.– J. BONY, *French Gothic Architecture of the 12th and 13th Centuries*, Berkeley, 1983, p. 233.

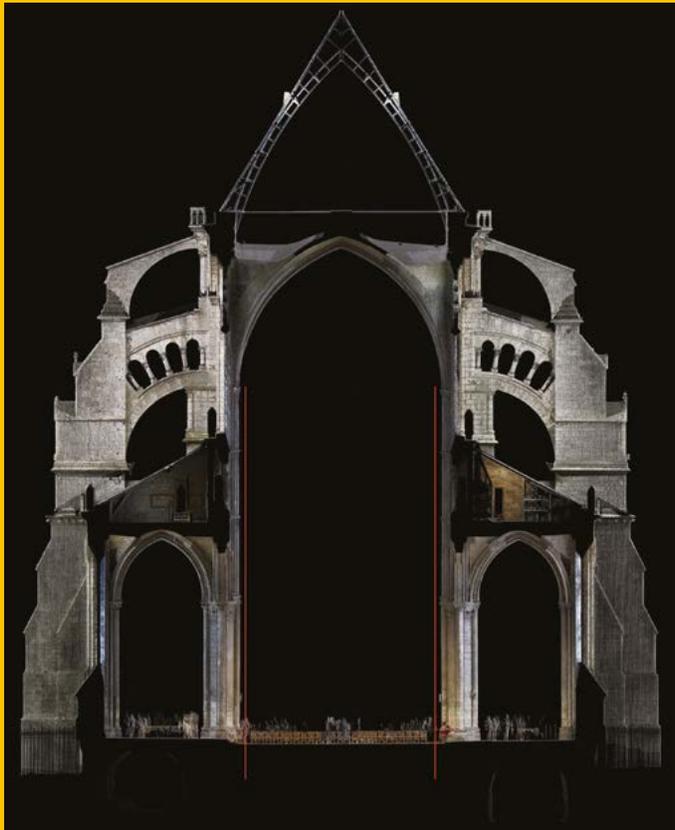
Voir aussi J. H. ACLAND, *Medieval Structure: The Gothic Vault*, Toronto, 1972, p. 97.

49.– R. BRANNER, *Chartres Cathedral*, New York, 1969, p. 84-85.

**Fig. 12 :** Chartres, cathédrale.  
Vue axonométrique d'une travée complète de la nef.  
Relevé laser, juin 2011.  
© A. Tallon.



**Fig. 13 :** Chartres, cathédrale.  
Coupe transversale de la nef  
avec lignes verticales indiquant  
l'aplomb. Relevé laser, juin  
2011. © A. Tallon.



au cours du demi-siècle précédent sur la déformation et le mouvement hors d'aplomb des membres verticaux sous l'action des poussées latérales incontrôlées des voûtes<sup>50</sup>.

Comme indiqué par la coupe transversale (fig. 13) – qui est identique à toutes les autres coupes – le bâtiment s'est à peine déplacé, grâce à un système structurel exceptionnel. De plus, en addition aux parties déjà examinées, le bâtiment comporte un élément invisible dans une coupe transversale : une série d'agrafes de fer placée en travers de l'extrados des doubleaux des voûtes des bas-côtés<sup>51</sup>. Celle-ci témoigne d'un système esthétique rectilinéaire dans lequel une valeur considérable a été placée. D'un certain point de vue les résultats du relevé laser, bien que visuellement extraordinaire, sont décevants : il n'y a rien de structurellement « mauvais » dans ce bâtiment. Pourtant, le manque de mouvement en dit long. Les bâtisseurs de la cathédrale de Chartres étaient engagés dans une bataille rangée pour maintenir l'intégrité d'un système d'illusionnisme structurel gothique, bataille contre l'ennemi principal : le fléchissement. Et ils en sortirent victorieux.

---

50.– A. TALLON, « An Architecture of Perfection », *Journal of the Society of Architectural Historians*, 73, n° 4, 2013, 530-554.

51.– Voir, dans le présent volume, la contribution de É. Lefebvre et de M. L'Héritier.