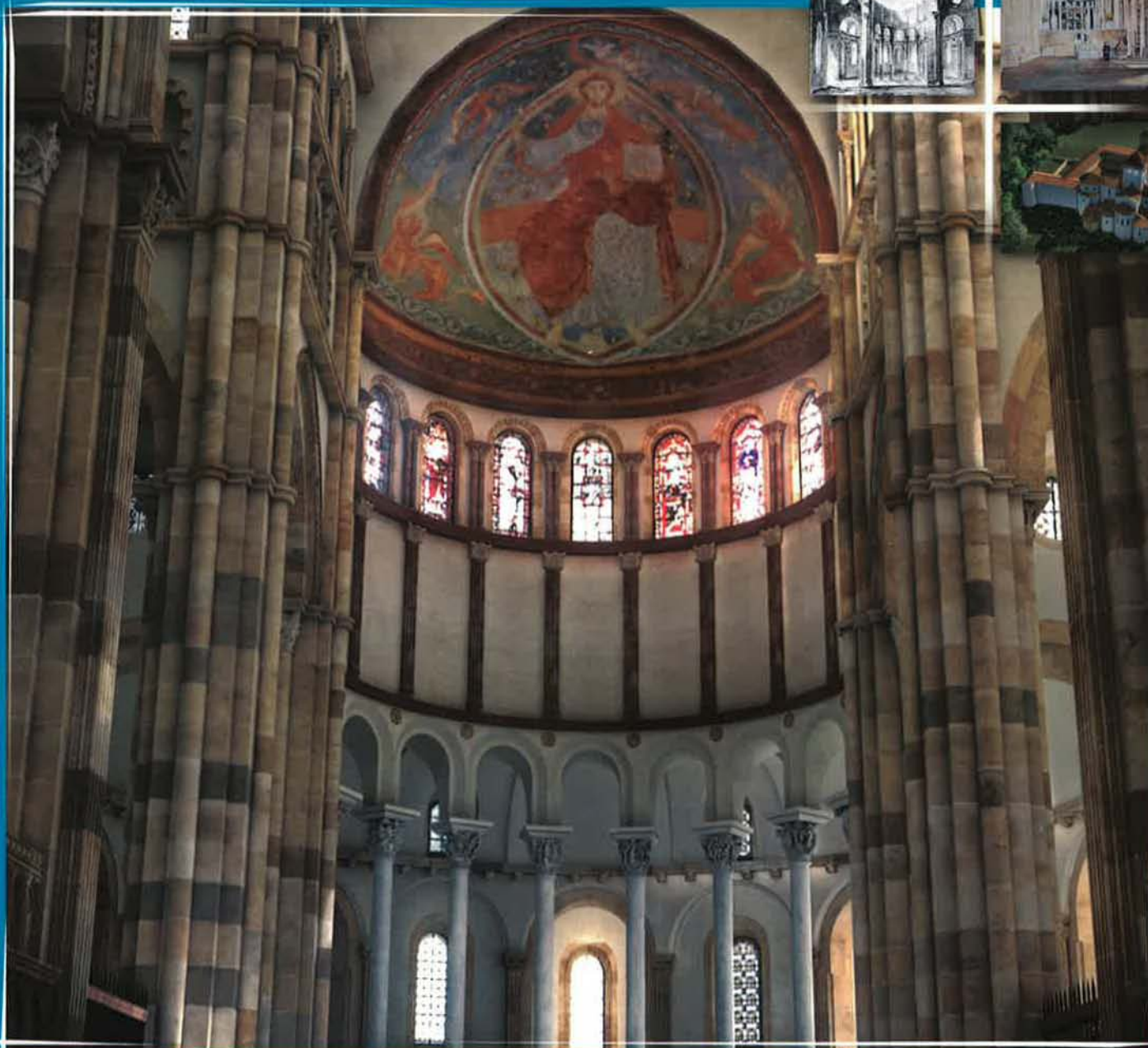




PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE
ACTES DU COLLOQUE INTERNATIONAL

Archeologie/architecture
Ingénierie-Technologie

Arch-I-Tech
2010



Le bâtiment gothique relevé par laser

Le cas de la cathédrale Notre-Dame de Noyon

et la question de son contrebutement : première approche

Andrew Tallon, Professeur, Department of Art, Vassar College, USA
antallon@vassar.edu

Arnaud Timbert, Maître de conférences en histoire de l'art médiéval, Université Charles-de-Gaulle Lille3
arnaud.timbert@univ-lille3.fr

Résumé : La discussion concernant la structure architecturale et, notamment, l'emploi de l'arc-boutant dans l'architecture du ^{xii}^e siècle, a longtemps été entravée par les caprices de l'intuition structurelle. Aujourd'hui un nouveau type d'investigation peut être proposé, fondé non pas sur la recherche des poussées elles-mêmes, par le biais d'un modèle abstrait, approximatif et souvent controversé, mais plutôt sur une observation attentive des traces du passage de ces poussées dans le bâtiment à la faveur de relevés scanographiques restituant le monument en trois dimensions. Ces relevés sont réalisés avec un scanner laser automatisé jusqu'à 50 000 mesures par seconde sur toutes les surfaces avec une précision de 4 mm près par mesure. Cette communication aura ainsi pour fin de mettre en valeur l'apport de cette technologie à la connaissance de la structure d'un monument fondateur de l'architecture gothique de la France du Nord : la cathédrale de Notre-Dame de Noyon. Il s'agira, dans un premier temps, de présenter l'ensemble des arguments archéologiques laissant envisager une implantation tardive des arcs-boutants de la nef et du chevet (revêtements des voûtes, percement a posteriori des parois à hauteur de l'extrados des voûtes du haut vaisseau, reprise de maçonneries...) et, dans un second temps, de confronter ces arguments avec les déformations lisibles sur le relevé 3D.

Mots-clés : 3D, Noyon, modèle, archéologie, relevés

Abstract : The discussion of Gothic architectural structure, especially the early use of the flying buttress, has long been hampered by the vagaries of personal opinion, based on little more than an intuitive sense for the complex mechanism of Gothic structure. Today a new approach can be proposed, one founded not on a search for the thrusts of vaults and arches themselves through the means of highly-abstracted, approximative and often contentious techniques of structural modeling, but rather the direct observation of the passage of these thrusts through the building, recorded in the form of deformation. This observation is made using high-definition laser surveying, in which a computer controlled laser measures every optically-available surface at speeds up to 50,000 times a second, with an astonishing precision on the order of several millimeters. This goal of this article is to explain the ways in which this new technique can be used to help solve a longstanding problem at

one of the key buildings of the twelfth century, the cathedral of Noyon. A painstaking archeological analysis of the vaults, upper walls and masonry reveals new evidence that the flying buttresses in the nave and chevet were in all likelihood installed well after the building was completed – an hypothesis which receives compelling confirmation from the deformational analysis made possible by the three-dimensional laser modeling.

Keywords : 3D, Noyon, model, archeology, representation

Faute de moyens précis pour évaluer le rôle des arcs-boutants dans l'équilibre et la structure des monuments gothiques des ^{xii}^e et ^{xiii}^e siècles, les débats sur leur emploi, bien que prolixes, ont été longtemps entravés par les caprices de l'intuition structurelle¹. Aujourd'hui, en complément d'analyses matérielles enrichies par les apports de l'archéométrie, un nouveau type d'investigation peut être engagé. Il est fondé non pas sur la recherche des poussées elles-mêmes, par le biais d'un modèle très abstrait, approximatif et souvent controversé², mais plutôt sur une observation attentive des traces du passage de ces poussées dans le bâtiment à la faveur de relevés scanographiques restituant l'édifice en trois dimensions.

C'est cette technologie qui favorise la connaissance de la structure d'un monument fondateur de l'architecture gothique dont l'histoire de l'équilibre fait toujours débat : la cathédrale Notre-Dame de Noyon, bâtie entre 1145 et 1230³. À l'instar des prospections engagées aux cathédrales Notre-Dame de Paris⁴ et Saint-Étienne de Bourges⁵, ces analyses

1. Voir notamment les synthèses de Lefèvre-Pontalis 1919, 367-396 ; Prache 1976, 31-42 ; Tallon 2007 ; Plagnieux 2009, 51-52.

2. Mainstone 1997, 316-340.

3. Plouvier 1987. Pour complément : Timbert 2011.

4. Tallon 2009 ; Noyon à paraître.

5. Tallon 2009 ; Bourges à paraître.

scannographiques ne font pas l'économie d'observations archéologiques. Il s'agira ainsi, dans un premier temps, de présenter quelques-uns des arguments archéologiques laissant envisager une implantation tardive des arcs-boutants de la nef et du chevet de la cathédrale de Noyon et, dans un second temps, de confronter et d'associer ces arguments aux déformations lisibles sur le relevé en trois dimensions.

ANALYSE ARCHÉOLOGIQUE

En plan, la cathédrale de Noyon se compose d'un chevet à chapelles rayonnantes contiguës, d'un transept saillant à extrémités hémicirculaires, d'une nef de dix travées et d'un massif de façade incluant un transept (fig. 1). L'élévation du chevet et de la nef, qui intéresseront principalement cette étude⁶, sont à quatre niveaux : grandes arcades, tribunes, arcatures ou triforium et fenêtres hautes (fig. 2). L'ensemble est voûté d'ogives quadripartites sur plan barlong et contrebuté à l'extérieur par des arcs-boutants du ^{xviii}^e siècle, pour le chevet (fig. 3)⁷ et, il nous semble, de l'extrême fin du ^{xiii}^e siècle début du ^{xiv}^e siècle pour la nef (fig. 4).

Les chercheurs, à l'exception de Seymour dont le raisonnement repose pour l'essentiel sur la forme des arcs-boutants, sont relativement unanimes sur l'emploi, dès le ^{xii}^e siècle, d'arcs-boutants à Noyon⁸. Il semblerait toutefois que les traces archéologiques résultant d'un sinistre – l'incendie de la charpente mentionné en 1293 – puisse être sollicité en faveur d'une implantation plus tardive.

D'après Charles Seymour, et avant lui Eugène Lefèvre-Pontalis, la charpente de la cathédrale Notre-Dame de Noyon brûla, en 1293, lors de l'incendie qui se propagea dans le quartier canonial⁹. Ils ont ainsi additionné les arguments dans ce sens en soulignant, d'une part, que le bref de Boniface VIII mentionnait les dommages subis par le cloître¹⁰ et une partie de l'église que Seymour identifie comme la façade et ses portails. Selon Lefèvre-Pontalis, la marque la plus tangible du sinistre est visible à travers la reconstruction des voûtes de la nef et du transept, de l'arc triomphal et du premier doubleau du chœur¹¹. Enfin, Seymour insiste en estimant que les derniers niveaux de la tour nord, nettement postérieurs aux parties inférieures, comme le révèlent incontestablement les

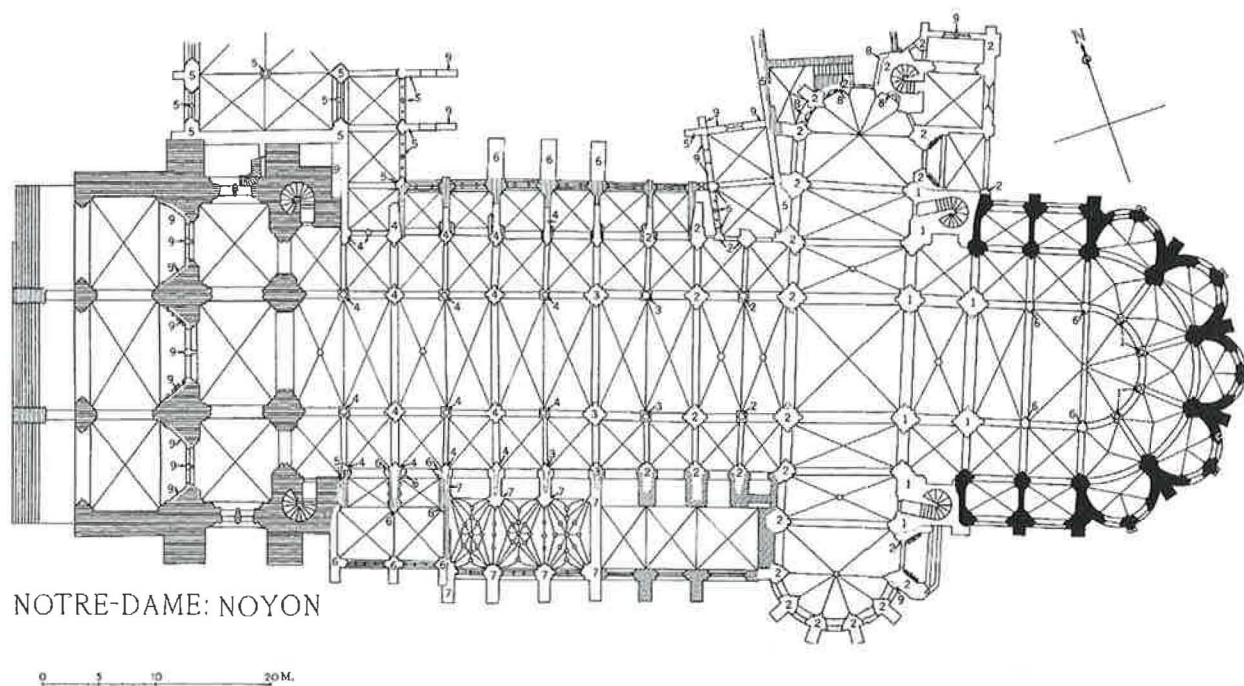


Fig. 1. Noyon, cathédrale. Plan. Ch. Seymour, 1939.

6. Sur l'équilibre du transept, pour une nouvelle interprétation : Etlin 2009, 543-51.

7. Seymour 1975, 74.

8. Barbier 1930, 515-529 ; Seymour 1975, 74 et 88 ; Prache 1978, 75 ; Prache 1987, 78 ; Plagnieux 2009, 51.

9. Seymour 1975, 46-50 ; Lefèvre-Pontalis 1900, 40.

10. *Quod quadam pars Noviomensis ecclesiae cum clastro et capitulo ac ornamentis fuerat casu miserabili concremata*, Levasseur 1633, 965.

11. Lefèvre-Pontalis 1900, 40.



Fig. 2. Noyon, cathédrale. Vue intérieure de la nef.
Cl. Arnaud Timbert.



Fig. 3. Noyon, cathédrale. Vue des arcs-boutants du chevet.
Cl. Arnaud Timbert.



Fig. 4. Noyon, cathédrale. Vue des arcs-boutants du flanc nord de la nef. Cl. Arnaud Timbert.

formes, furent refaits après l'écroulement de la tour calcinée par les flammes du beffroi qu'elle renfermait¹².

Rien, pourtant, n'indique que l'incendie est à l'origine de tels dégâts. Les établissements des Templiers et des Hospitaliers ainsi que l'église Saint-Pierre, à l'est de la cathédrale, ne sont pas mentionnés comme ayant été endommagés par l'incendie¹³. D'autre part, il semblerait que l'effondrement de la tour nord ne puisse être retenu : outre que le bref d'Urbain VIII ne le mentionne pas, il aurait provoqué des dommages périphériques dont les formes ne témoignent nullement, tant à hauteur du cloître¹⁴, de la salle du chapitre¹⁵ que des portails de la façade occidentale¹⁶. Enfin, l'argument d'un incendie du comble du haut vaisseau fondé sur un écroulement des voûtes consécutivement à celui des pièces de la charpente, ne peut plus être retenu depuis que l'étude des enduits et revêtements a permis l'attribution définitive des ogives quadripartites de la nef au projet primitif¹⁷.

12. Seymour 1975, 48-49.

13. Levasseur 1633, 841. Pour détails : Seymour 1975, 46, n. 4 et 47, n. 5.

14. Tricoit 2004.

15. Pawlak 2004.

16. Timbert & Daussy à paraître.

17. Victoir 2005, 251-254. Notons par ailleurs que l'incendie des combles, notamment des cathédrales de Reims, Nantes et Chartres, n'ont pas entraîné l'écroulement des voûtes sous-jacentes.

Les formes, les textes et leur interprétation ne permettent pas d'affirmer que la charpente ait brûlé en 1293. En revanche, l'analyse archéologique des combles du monument apporte de nouvelles informations. Si la partie supérieure des murs gouttereaux recevant les sablières et les chéneaux ont été entièrement restaurés après la Première Guerre mondiale¹⁸, nous privant d'indices pouvant nous éclairer sur le sujet, des orifices ménagés dans le creux des voûtains pourraient être la trace d'un aménagement provisoire résultant d'un incendie.

À l'extrados, dans le creux de chaque voûtains de la nef comme du chevet, des cavités de forme avoisinant une trentaine de cm de côté en moyenne ont été percées sur la largeur du mur au droit des arcs-boutants (fig. 5). Ces cavités ont été réalisées à l'aide de pics dans un appareil préexistant comme l'indique le hiatus entre la qualité du layage des assises et la vulgarité du travail au pic. Une fois percées, les cavités ont été couvertes sur leur face inférieure d'un revêtement auquel une forme concave a été donnée (fig. 6). Ce matériau est identique à celui revêtant les voûtes, savoir une couche lisse d'un enduit épais de 2 à 3 cm qui se distingue aisément des couches de ciment réalisées au xx^e siècle. Plusieurs clichés photographiques pris après les déprédations de la Première Guerre mondiale, tant dans la nef (fig. 7) que dans le chevet (fig. 8), révèlent la présence des cavités avant la réalisation des travaux (pour la nef) et la mise en œuvre du ciment sur l'extrados des voûtes (pour le chevet). Ces cavités sont donc antérieures aux restaurations contemporaines.

Cette courte description archéologique permet l'hypothèse suivante : après l'incendie, l'extrados calciné des voûtes a été revêtu d'une épaisse couche d'enduit. Simultanément, des orifices ont été ménagés pour favoriser l'évacuation des eaux pluviales, selon une configuration identique à ce qui a été observé à la cathédrale d'Amiens¹⁹ et à Chartres à la suite de l'incendie de 1834. Ceci permettrait par conséquent d'imaginer qu'après la destruction de la charpente en 1293, les voûtes aient été revêtue d'un enduit – dont l'étanchéité reste encore à prouver – ou/et de tables de plomb directement disposées sur l'extrados des voûtes et permettant la canalisation des eaux pluviales vers les trous ménagés à l'effet de leur évacuation. Ces trous ont été par la suite obturés lors de la réalisation des arcs-boutants. Il semblerait donc que la cathédrale n'aient pas été dotée de contrebutement extérieur avant 1293, pour la nef, et avant le xviii^e siècle, pour le chevet²⁰.

18. Timbert 2011, 159-170.

19. Hoffsumme & Lambert 2002, 122-135. À cet exemple il convient d'ajouter ceux de la collégiale Notre-Dame-en-Vaux et de la cathédrale Saint-Pierre de Poitiers.

20. D'autres éléments archéologiques majeurs (appareillage, rupture de bandeaux, inadéquation de mensuration entre contreforts et culées ...) doivent être pris en compte dans la perspective d'aboutir à une analyse archéologique exhaustive. Celle-ci sera offerte dans une



Fig. 5. Noyon, cathédrale. Vue d'une cavité ménagée au creux des voûtains, à l'extrados des voûtes de la nef. Cl. Arnaud Timbert.



Fig. 6. Noyon, cathédrale. Vue intérieure d'une cavité ménagée au creux des voûtains, à l'extrados des voûtes de la nef. Cl. Arnaud Timbert.

étude détaillée de la question intégrée à la monographie en cours de rédaction de la cathédrale.



Fig. 7. Noyon, cathédrale. Vue d'une cavité de la nef avant restauration. Cl. A. Collin n° 26118.



Fig. 8. Noyon, cathédrale. Vue extérieure d'une cavité du chevet avant restauration. Cl. MH 26098.

L'APPORT DU RELEVÉ EN 3D

Dans la perspective d'apporter un complément à l'analyse archéologique, le 4 juin 2009, l'intérieur de la cathédrale de Noyon a été modélisé avec l'aide de Paul Blaer, professeur d'informatique à l'Université de Columbia (USA). Les données ont été colligées en utilisant un laser dirigé par ordinateur, qui relève la distance entre lui et chaque surface qu'il rencontre dans un champ horizontal de 360° et un champ vertical de 270°.

Les mesures recueillies dans les diverses parties du bâtiment, au total 10 millions, ont été liées les unes aux autres créant ainsi un plan spatial d'une grande exactitude, chaque mesure acquise par le laser étant précise à quelques millimètres près (fig. 9).

Par son exactitude le relevé scanographique offre un moyen permettant au bâtiment de nous "parler" plus directement, c'est ce que nous nommons l'archéologie spatiale, c'est-à-dire l'observation microscopique des déformations morphologiques. L'archéologie spatiale est fondée sur le fait qu'un bâtiment est construit d'aplomb. S'il ne l'est plus, nous pouvons estimer qu'il a été poussé hors de son aplomb par les forces conjuguées de gravité, de pression du vent et de variations thermiques, actives principalement durant les premières années après la fermeture du chantier alors que le mortier était toujours à l'état plastique²¹.

L'archéologie spatiale fournit ainsi des informations sur le comportement structurel du bâtiment. Quand il est examiné de près, un schéma des déformations se dégage (fig. 10) : les murs gouttereaux sont déplacés vers l'extérieur de l'ordre de 10 cm au niveau des retombées des voûtes dans presque

21. Sur la question du mortier : Coutelas 2009.

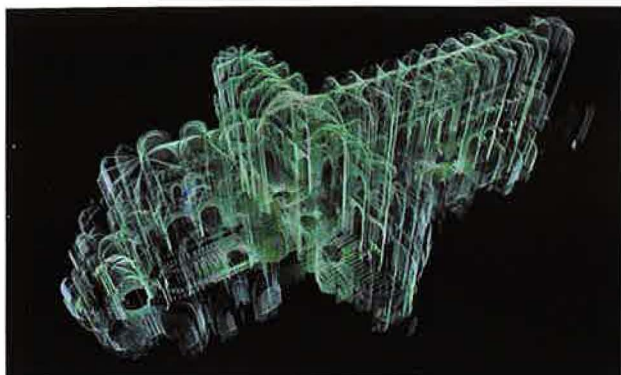


Fig. 9. Noyon, cathédrale, relevé scannographique. Andrew Tallon.



Fig. 10. Noyon, cathédrale, relevé scannographique. Coupe sur la nef. Andrew Tallon.

toutes les travées du chœur et de la nef de la cathédrale (hormis celles formant la croisée ou celles adjacentes aux tours occidentales). Il s'agit d'un mouvement assez subtil, mais qui prend de l'importance quand nous examinons le contexte.

La cathédrale de Noyon est un monument relativement robuste. Les murs sont épais de plus de 80 cm et bien consolidés par des contreforts épais de 1 m à 1,50 m. De plus, les fenêtres hautes étant petites, le point d'appui des tribunes est relativement élevé par rapport à la hauteur du bâtiment.

Dans ce contexte structurel, ce léger mouvement des parties supérieures du mur gouttereau semble suggérer qu'elles n'étaient pas contrebutées comme elles le sont maintenant, dans la période initiale de durcissement du mortier.

L'éventualité d'une construction sans arc-boutant semble donc envisageable.

L'étape suivante de cette prospection consistera à confirmer cette hypothèse par une étude extérieure du monument – envisagée pour juin 2011 – qui nous permettra de comparer les déformations observées (ou non) sur les faces extérieures des culées avec celles qui se présentent à l'intérieur. Des culées bien d'aplomb favoriseraient l'idée d'un ajout tardif des arcs-boutants ; en revanche, une déformation en parallèle supposerait une construction contemporaine aux voûtes.

L'apport de la scannographie en 3 dimensions à la connaissance de la cathédrale Notre-Dame de Noyon permet de débloquent des questions anciennes de plusieurs décennies. La 3D révèle ainsi, lorsqu'elle est associée avec justesse aux données archéologiques, combien elle peut devenir un outils décisif dans la compréhension des monuments du Moyen Âge.

Bibliographie

- Barbier, L. (1930) : "Étude sur la stabilité des absides de Noyon et de Saint-Germain-des-Près", *Bulletin monumental*, 515-529.
- Coutelas, A., dir. (2009) : *Le mortier de chaux*, Paris.
- Etlin, R. (2009) : "Serial Barrel Vaults, Inverted Arches, and Rings: A Neglected Family of Structural Forms", *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, ed. Karl-Eugen Kurrer, 543-51.
- Hoffsummer, P. et G.-N. Lambert (2002) : "Les tirants et les charpentes de la cathédrale Notre-Dame d'Amiens", *Les charpentes du x^e au xix^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Cahiers du Patrimoine n° 62, Paris, Monum', 122-135.
- Lefèvre-Pontalis, E. (1900) : *Histoire de la cathédrale de Noyon*, Paris.
- (1919) : "L'origine des arcs-boutants", *Congrès archéologique de France*, Paris, 367-396.
- Levasseur, J. (1633) : *Les Annales de l'église de Noyon, jadis dite de Vermand*, Paris.
- Mainstone, R. (1997) : "Structural Analysis, Structural Insights, and Historical Interpretation", *Journal of the Society of Architectural Historians* 56, no. 3, 316-40.
- Pawlak, S. (2004) : *Le réfectoire du quartier canonial de la cathédrale Notre-Dame de Noyon*, mém. maîtrise, Univ. Lille III - Ch. de Gaulle, dir. A. Timbert, 2 vol.
- Plagnieux, Ph. (2009) : "Arc-boutant", *Dictionnaire d'Histoire de l'Art du Moyen Âge occidental*, Paris, 51-52.
- Plouvier, M., dir. (1987) : *La ville de Noyon*, Cahiers de l'Inventaire, n° 10.
- Prache, A. (1976) : "Les arcs-boutants du xiii^e siècle", *Gesta*, 15, 1976/1-2, 31-42.
- Prache, A. (1978) : "À propos des voûtes de la nef de la cathédrale de Noyon", *Bulletin monumental*, 73-77.
- (1987) : "La cathédrale de Noyon, état de la question", *La Ville de Noyon*, Cahiers de l'Inventaire, n° 10, 71-80.
- Seymour, Ch. (1975) : *La cathédrale Notre-Dame de Noyon au xiv^e siècle*, Paris - Genève.
- Tallon, A. J. (2007) : *Experiments in Early Gothic Structure : the Flying Buttress*, thèse de doct., dir. S. Murray, Columbia University.
- Tallon, A. (2009) : "Archéologie spatiale. Le bâtiment gothique relevé (et révélé) par laser", *Architecture et sculpture gothiques. Renouveau des méthodes et des regards*, Actes du II^e

- colloque de Noyon, 19-20 juin 2009, dir. S. Daussy et A. Timbert, à paraître.
- Tallon, A. (2009) : "La cathédrale de Bourges à la lumière du laser", *La cathédrale Saint-Étienne de Bourges*, 1^{er} colloque international de Bourges, 28 au 30 oct. 2009, dir. O. Nauleau et M.-R. Renon, à paraître.
- Timbert A. (2011) : *La cathédrale Notre-Dame de Noyon. Cinq années de recherches*, *Mémoires de la Société archéologique, historique et scientifique de Noyon*, vol. 39.
- (2011) : "La charpente en béton de la cathédrale Notre-Dame de Noyon", *La cathédrale Notre-Dame de Noyon. Cinq années de recherches*, *Mémoires de la Société archéologique, historique et scientifique de Noyon*, vol. 39, 159-170.
- Timbert, A. et S.-D. Daussy (à paraître) : "Les portails de la façade occidentale de la cathédrale Notre-Dame de Noyon et la sculpture du XIII^e siècle", à paraître.
- Tricoit, M. (2004) : *Le cloître de la cathédrale Notre-Dame de Noyon : analyse archéologique et architecturale*, mém. de maîtrise, Univ. Lille III - Ch. de Gaulle, dir. A. Timbert, 3 vol.
- Victoir, G. (2005) : "La polychromie de la cathédrale de Noyon et la datation des voûtes quadripartites de la nef", *Bulletin monumental*, 251-254.