



HAL
open science

La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier

Frédéric Epaud

► **To cite this version:**

Frédéric Epaud. La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier. PUF, 2017, Collection Perspectives historiques série archéologie, 978-2-86906-435-5. hal-01802160

HAL Id: hal-01802160

<https://hal.science/hal-01802160>

Submitted on 23 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.







La Charpente
de la
CATHÉDRALE DE BOURGES
De la forêt au chantier





Frédéric Épaud

La Charpente
de la
CATHÉDRALE DE BOURGES
De la forêt au chantier

Collection « Perspectives historiques »

Presses *f* Universitaires
FRANÇOIS-RABELAIS
2017



Illustration de couverture

Cathédrale de Bourges, vue de la charpente gothique du vaisseau principal, depuis la nef.
(© Cliché F. Épaud).

Mise en page
Bertrand Jouanneau – PUF

Couverture
Maquette et conception graphique
Mickaël Robert – PUF

© Presses universitaires François-Rabelais de Tours, 2017
60, rue du Plat-d'Étain – BP 12050
37020 Tours cedex 1 – France
www.pufr-editions.fr

ISSN : 1764-4305
ISBN PUF : 978-2-86906-435-5
Dépôt légal : 1^{er} semestre 2017



☰ SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
CHAPITRE I – MISE EN PERSPECTIVE	11
<i>Les campagnes de construction de la cathédrale gothique</i>	11
La campagne du chœur	12
Une clôture provisoire	17
La campagne de la nef	19
Les difficultés de financement du chantier	20
Les chantiers postérieurs au XIII ^e siècle	21
<i>Présentation générale des charpentes</i>	22
Les ensembles structurels	22
La flèche et le faux-transept	22
Les restaurations du XIX ^e siècle	28
Les travaux du XXI ^e siècle	31
<i>Les dates d’abattage et de mise en œuvre des charpentes</i>	32
Les abattages des bois de la nef (F16-F17)	33
Les abattages des bois du chœur (F107-croupe)	35
CHAPITRE II – LE BOIS D’ŒUVRE	41
<i>Le bois d’œuvre</i>	41
Le stockage	41
Un traitement curatif des bois : le fumage	44
Les indices du transport du bois	49
Profil dendrométrique des pièces de charpente	50
L’équarrissage	59
Les bois tors	62
<i>La forêt exploitée</i>	63
Le choix des arbres	63
Les types d’arbres abattus	63
La consommation en bois d’œuvre et le débitage des grumes	70
Les lieux d’approvisionnement : la forêt de Saint-Palais ?	72

Les modalités de prélèvement en forêt (coupe à blanc, furetage)	74
Le type de futaie exploitée	79
La surface forestière sollicitée	88
Une « sylviculture » adaptée aux charpentes gothiques	89
Les témoins forestiers des pratiques sylvicoles médiévales	92
CHAPITRE III – LA STRUCTURE DE LA CHARPENTE	99
<i>Le plan</i>	99
<i>La répartition des charges</i>	101
<i>Les fermes</i>	103
Les fermes de la nef	104
Les fermes du chœur	107
Les fermes des travées orientales de la nef (F57-F67)	109
<i>Les éléments longitudinaux</i>	112
Les sablières	112
Le dispositif longitudinal axial	113
Le contreventement des chevrons	119
<i>La croupe absidiale</i>	122
La croupe actuelle	123
Les réemplois	123
La croupe d'origine	126
Comparaison avec d'autres croupes du XIII ^e siècle	127
<i>Les déformations de la charpente</i>	129
CHAPITRE IV – LES INDICES DU CHANTIER	135
<i>La « ferme-épure »</i>	135
<i>Le piquage</i>	137
<i>Le marquage</i>	137
Le marquage de 1256-1257	138
Le marquage de 1263	152
<i>Le marquage X</i>	153
<i>Le levage de la charpente et la question des voûtes</i>	155
<i>Le temps de réalisation des charpentes</i>	159
CHAPITRE V – LE BEFFROI DE LA TOUR OCCIDENTALE SUD	163
<i>Les bois</i>	163
<i>La structure</i>	165
CHAPITRE VI – SYNTHÈSE GÉNÉRALE	173
BIBLIOGRAPHIE	179
ANNEXE	187
GLOSSAIRE	205



INTRODUCTION

Si LA CATHÉDRALE SAINT-ÉTIENNE DE BOURGES a déjà fait l'objet de nombreuses études et publications sur son architecture, ses sculptures ou ses vitraux, sa charpente a jusqu'à présent moins retenu l'attention des chercheurs. Seule une étude succincte publiée en 2002¹, basée sur un relevé de 1928 d'une travée, permettait de se faire une idée du gigantesque ouvrage de bois qui coiffe le vaisseau central sur plus de 100 m de long. La datation dendrochronologique de ses bois, et par là même celle de l'achèvement de la cathédrale, a également peu suscité d'intérêt puisqu'elle a été faite tardivement en 1998 avec un faible échantillonnage.

Entre 2010 et 2014, la charpente du vaisseau central a fait l'objet d'une vaste campagne de restauration commanditée par la Conservation régionale des Monuments historiques (CRMH). Ce chantier, dirigé par l'architecte en chef Patrick Ponsot, fut donc l'occasion de relever et d'analyser exhaustivement cette grande charpente en profitant de sa découverte et des échafaudages mis en place dans sa structure sur toute sa longueur, de sa base jusqu'au faitage.

Le premier objectif de cette étude archéologique était de récolter l'ensemble des informations sur la structure de la charpente ainsi que sur les techniques et les outils employés à leur exécution (transport du bois, modes d'équarrissage, taille, assemblage, marquage...) et à leur mise en place (indices de levage, engin...). Ces données permettent en effet de comprendre l'organisation du chantier avec notamment les phases du levage de la charpente et l'identification des différentes équipes de charpentiers, reconnaissables par le marquage des bois. Au-delà de la compréhension de la structure de cette charpente, l'enjeu est de définir aussi les compétences techniques mises en œuvre sur ce chantier au



XIII^e siècle et de les évaluer par comparaison avec celles observées sur d'autres édifices majeurs de cette époque.

Le second objectif était de mener une vaste analyse dendroarchéologique sur les bois d'œuvre. Son intérêt est, d'une part, de préciser les dates d'abattage des bois à la saison près afin de comprendre les modalités d'approvisionnement du chantier, les phases du levage et les reprises de la structure, du XIII^e siècle à l'époque moderne. D'autre part, elle devait permettre de définir le profil écologique des arbres utilisés (morphologie, âge, type de croissance, impact anthropique...) et d'en déduire les caractéristiques du peuplement des parcelles forestières exploitées (futaie dense, taillis-sous-futaie, futaie sur souche, densité...) et de sa gestion par l'homme (cycles d'éclaircies, coupes, émondages...).

En parallèle à l'étude des grandes charpentes du vaisseau principal, notre attention s'est portée aussi sur le beffroi de la tour occidentale sud. En effet, il s'est avéré que ce beffroi de plus de 12 m de hauteur, logé au dernier niveau de la tour, a été daté du XIII^e siècle, faisant de celui-ci un ouvrage contemporain de la construction des charpentes du vaisseau central mais surtout, l'un des plus anciens et des plus grands beffrois connu actuellement en France.

Financé par le CNRS², la région Centre³ et la CRMH, ce travail s'appuie sur une vaste campagne de relevés archéologiques réalisés à la main, au tachéomètre et au scanner, sur l'ensemble des charpentes. Pour l'étude dendroarchéologique, les mensurations et la morphologie de chaque bois ont été relevées individuellement (section à chaque extrémité, calcul du défilement des bois, présence d'aubier, sens des fibres, indice d'équarrissage forcé...). La campagne d'analyses dendrochronologiques, pour laquelle un protocole spécifique d'échantillonnage a été mis en place pour répondre aux questions dendrologiques, a été réalisée sur plus de 300 prélèvements. Ils furent analysés par le laboratoire CEDRE de Besançon pour la datation, et par le laboratoire Dendrotech de Rennes et EFC Lab de Nantes pour le volet dendrologique.

Au-delà des informations relatives aux charpentes et aux bois d'œuvre, les données recueillies ici apportent un nouvel éclairage sur l'histoire de la construction de la cathédrale et sur son achèvement. Les résultats rendent compte surtout de l'organisation d'un chantier de grande envergure dont la complexité nous échappe encore pour une grande part.

NOTES

1 > CRMH 2002, p. 163-165.

2 > UMR 7324 CITERES, Laboratoire Archéologie et Territoires, Tours.

3 > Programme « CharpCentre » financé dans le cadre d'un appel à projet d'intérêt régional de la région Centre. Ce programme (2012-2015) porte sur le recensement des charpentes médiévales en région Centre et sur l'étude des charpentes du XIII^e siècle des cathédrales de Bourges et de Tours.



MISE EN PERSPECTIVE

UNE PARTIE DE CE TRAVAIL, consacré à la charpente de la nef, a déjà fait l'objet d'une publication¹. Nous en reprenons certaines parties afin de garder la cohérence de cette étude.

LES CAMPAGNES DE CONSTRUCTION DE LA CATHÉDRALE GOTHIQUE

Au XII^e siècle, le pouvoir de l'archevêque de Bourges, vassal de la Couronne et primat des Aquitaines, s'étendait aux évêchés de Limoges, Clermont, Cahors, Le Puy, Mende, Albi et Rodez. L'archevêque Pierre de la Châtre (1144-1171) entreprit le renouvellement architectural du chœur de la cathédrale romane et du palais. Il réforma aussi profondément l'administration du diocèse et accrut, en 1159, les revenus du chapitre². Ses successeurs n'eurent que peu d'influence sur la politique ou l'administration du diocèse jusqu'à l'élection de Henry de Sully en 1183 qui occupa le siège archiepiscopal jusqu'en 1199. Celui-ci augmenta le nombre des prébendes capitulaires de 30 à 40, renforça les biens fonciers du chapitre et entreprit la reconstruction du chevet de la cathédrale. Son successeur Guillaume de Donjon (1199-1208) poursuivit les travaux du chœur et fut, d'après R. Velhagen, le concepteur du programme des vitraux du déambulatoire sur un desquels il est représenté (vitrail du collatéral intermédiaire³). Il fut canonisé en 1218 et ses reliques furent enchâssées et déposées derrière le maître-autel⁴. Son neveu, Simon de Sully, occupa le siège de 1218 à 1232 et dut répondre aux problèmes d'administration du diocèse comme de la lutte pour la primatie des Aquitaines⁵. L'achèvement de la cathédrale se fit sous l'archiepiscopat de son successeur, Philippe Berruyer (1236-1260 environ), neveu de saint Guillaume.

Aucun document ne mentionne une quelconque approbation ou implication de Philippe Auguste ni de l'aristocratie locale au projet de construction de la cathédrale gothique, ce qui suppose un financement assuré en grande partie par le chapitre.

D'après les sondages archéologiques de 1856 et 1952, la cathédrale du XI^e siècle, érigée probablement par l'archevêque Gauzlin (1013-1030), présentait un chevet plat adossé au rempart gallo-romain, avec une abside qui réoccupait une tour de l'enceinte antique⁶. Une petite crypte pourvue d'une *cella* à l'ouest en occupait le sous-sol⁷. Ce chevet était surélevé de 2,20 m par rapport au sol de la nef qui se situe à 4 m sous le sol gothique actuel⁸. Vers 1160, sous le règne de Pierre de la Châtre, deux ailes latérales y sont rajoutées avec des murs orientaux appuyés aussi contre la muraille antique. Les deux portails qui en constituaient les entrées furent démontés et réemployés plus tard dans les façades latérales de la nef gothique⁹. Les fouilles du XIX^e siècle ont montré aussi que le chœur et la nef romane avaient la même largeur que le vaisseau central gothique.

La campagne du chœur

Selon R. Branner, le chantier de la cathédrale gothique aurait connu un premier maître d'œuvre dès 1195 qui a établi le plan de la cathédrale (fig. I-1) et érigé une partie du chevet. Les maîtres d'œuvre qui lui ont succédé ont conservé cette conception première, terminant le chœur, la nef et la façade selon le même parti¹⁰ (fig. I-2).

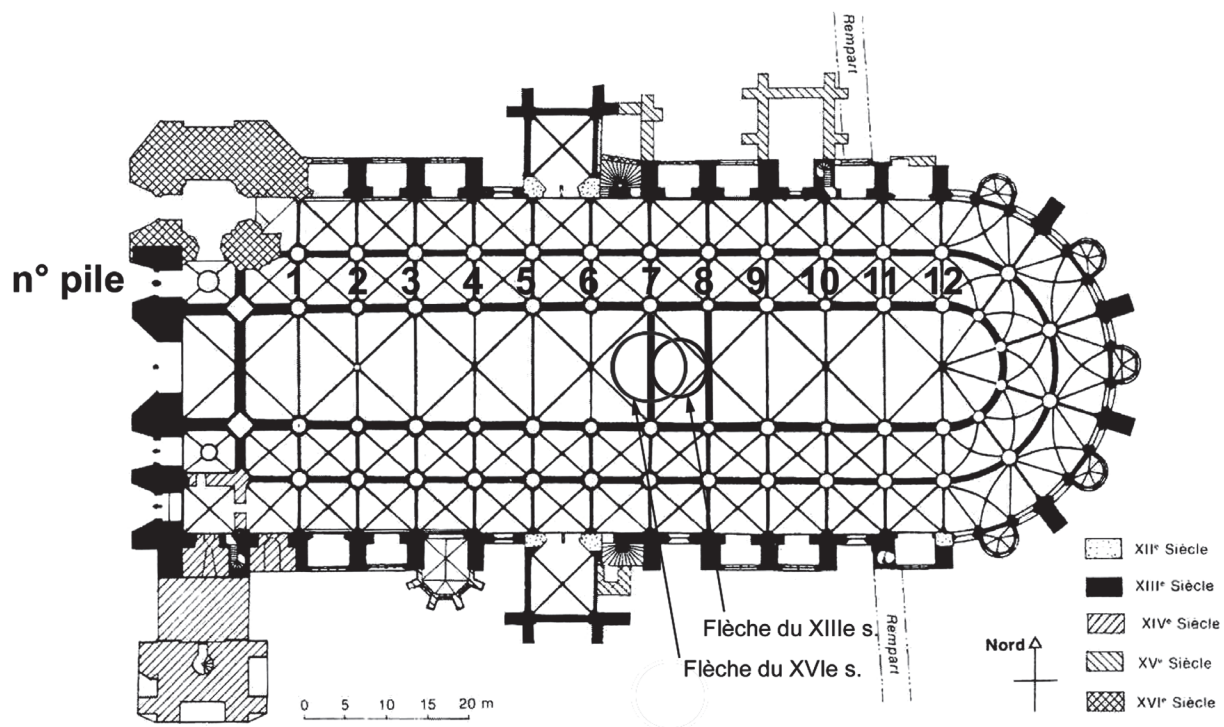


Fig. I-1 > Plan de la cathédrale. [D'après Ribault 1995 (1).]

Le début de la construction de la cathédrale gothique est suggéré par une charte signée en 1195 qui confirme la donation faite par Henry de Sully de 500 livres au chapitre pour que celui-ci puisse acquérir des biens fonciers¹¹. Elle mentionne surtout qu'Henry de Sully concède à la fabrique toutes les taxes judiciaires qu'il juge nécessaires pour financer des travaux sur la cathédrale¹². Si R. Branner considère qu'il s'agit de travaux de réparation à prévoir sur la cathédrale romane, J.-Y. Ribault pense que le terme *reparatio* se traduit par « réfection » et qu'il induit un programme de reconstruction. Par ailleurs, les fouilles de 1952 et celles du XIX^e siècle du chœur roman ont mis en évidence une couche d'incendie avec des maçonneries calcinées appartenant à la cathédrale du XII^e siècle. Cet incendie, qui reste difficile à dater, peut être à l'origine de la reconstruction de la cathédrale.

Selon R. Branner, l'ensemble du projet aurait été divisé en deux campagnes, le chœur, de 1195 à 1214, et la nef, de 1225 à 1255, elles-mêmes réparties en plusieurs phases, selon le style des chapiteaux et des bases, avec une interruption de chantier de dix ans entre les deux campagnes (fig. I-3).

Pour la campagne du chœur, la première phase aurait été consacrée à l'église basse (crypte gothique), l'abside et la première travée droite, jusqu'à la hauteur des fenêtres du collatéral interne (fig. I-3 : phase 1 en rouge). Ces constructions s'appuyaient contre les élévations du rempart antique, contre lequel s'adossait, à l'ouest, le chœur roman. Le culte aurait donc continué à être assuré dans ce dernier, en dépit de l'amputation de sa tour d'enceinte et de ses ailes latérales. La seconde phase aurait consisté à détruire le chœur roman pour ériger à sa place les travées droites gothiques et ses collatéraux, jusqu'aux voûtes du collatéral intérieur¹³ (fig. I-3 : phase 2 en beige). Le culte aurait alors été transféré dans la nef romane, ce qui est confirmé par la présence d'un maître-autel à l'est de la nef romane, au droit de la 8^e pile gothique, révélé lors de l'installation d'un calorifère dans la nef en 1896¹⁴.

À la fin de 1208, l'archevêque Guillaume de Donjon prêcha la veille de l'Épiphanie dans l'église Saint-Étienne (dans le chœur en chantier ?) et, d'après son biographe qui était témoin des événements, il prit froid car l'endroit était « exposé au vent de tous les côtés¹⁵ ». Il en tomba malade et mourut quelques jours plus tard, le 10 janvier 1209. Il fut inhumé soit à l'aplomb du



Fig. I-2 > Élévations internes de la nef et du chœur.

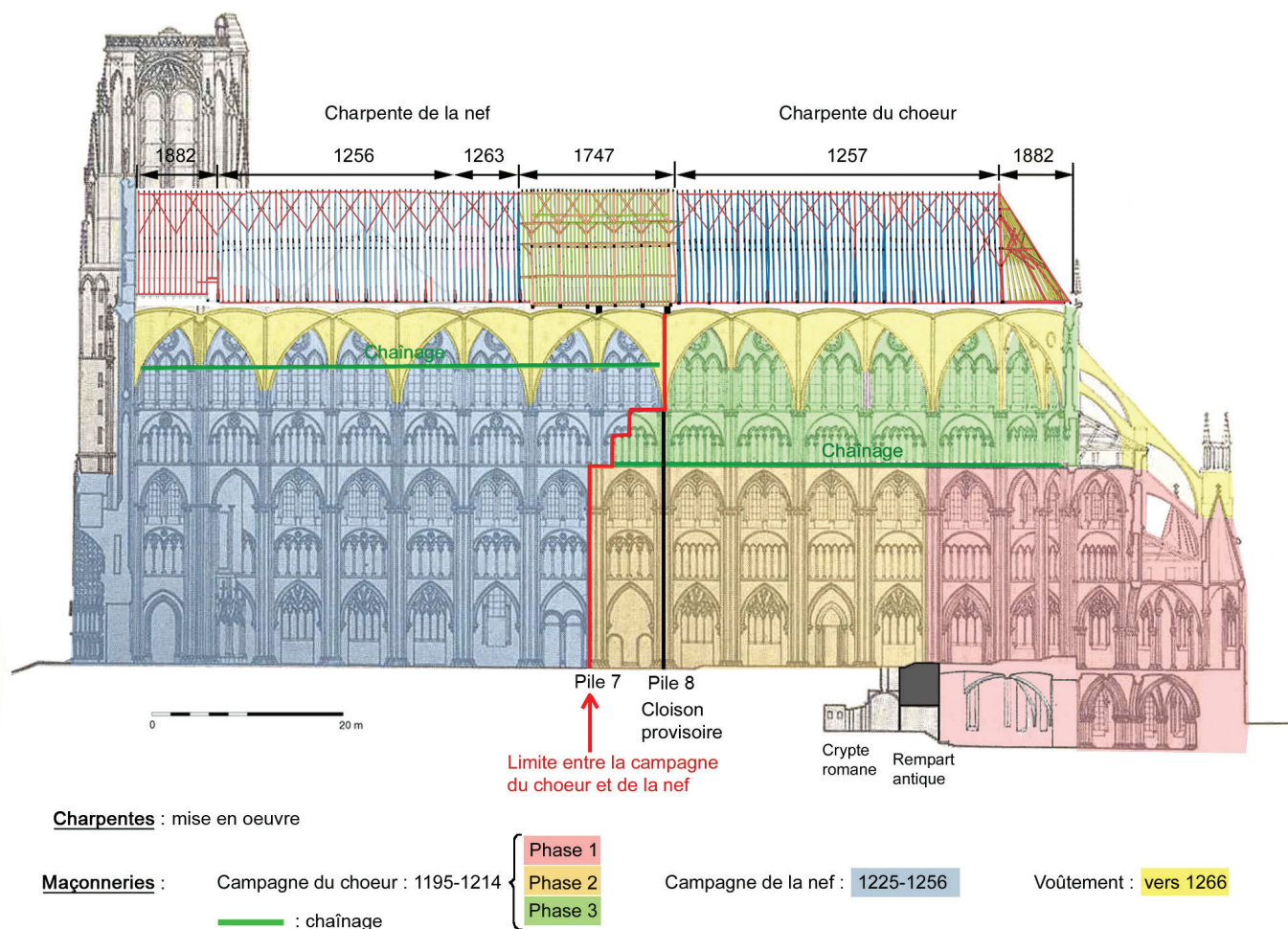


Fig. I-3 > Coupe longitudinale avec phasage des campagnes de construction.

nouveau maître-autel dans l'église basse qui venait d'être achevée¹⁶, soit dans la nef roman¹⁷, avant d'être déplacé dans une châsse derrière le maître-autel, vraisemblablement en 1218 lors de sa canonisation. Cet archevêque est représenté dans un vitrail du XIII^e siècle du collatéral intermédiaire, au sud-est du déambulatoire.

Les marques lapidaires, étudiées par J.-Y. Hugoniot, valide ce phasage avec un premier ensemble cohérent d'une trentaine de marques retrouvées à l'est du mur d'enceinte sur l'église basse, l'abside et le sanctuaire, avec un prolongement sur le mur latéral nord jusqu'au portail compris¹⁸. Un deuxième ensemble de marques distinctes, relevées sur les travées droites du chœur jusqu'aux portails latéraux, correspond à la seconde phase de la campagne du chœur. Par ailleurs, le raccord entre la première et la seconde phase s'observe à l'ouest de la première travée droite, au nord comme au sud, par des différences dans le tracé des fenêtres intermédiaires, dans le style des culots des arcs d'encadrement du triforium inférieur et par l'interruption du passage de ce dernier¹⁹.

Ce phasage est confirmé par l'étude récente²⁰ du chaînage longitudinal qui ceinture la base du triforium haut et qui s'arrête entre la 7^e et la 8^e pile en partant de l'ouest (fig. I-3 : chaînage

en vert foncé). Constitué d'une chaîne ininterrompue de petites barres de fer assemblées entre elles, ce chaînage montre, d'après la composition des fers et des plombs de scellement, trois ensembles : un premier sur l'abside et la première travée droite (phase 1), un second sur les travées droites nord et un troisième dans les travées droites sud (phase 2), confirmant ainsi un montage réparti selon les grandes étapes du chantier. Ce chaînage, qui présentait l'avantage de pouvoir être monté au fur et à mesure de l'avancement du chantier, permettait de contenir une éventuelle déformation des piles et des grandes arcades du fait de l'absence de contrebutement à l'ouest.

On observe aussi, dans le comble du collatéral intérieur, des arcs diaphragmes placés au-dessus des doubleaux et qui portent un tirant en métal reliant le mur du triforium à la culée²¹. Ces tirants, destinés à contenir la poussée des voûtes sous-jacentes, apparaissent après la première travée droite du chœur, au départ de la deuxième phase, et sont présents sur toute la longueur des collatéraux nord et sud jusqu'aux tours occidentales, au sein desquelles les tirants ne sont plus nécessaires. La décision de mettre en place ce chaînage est donc intervenue au début de la seconde phase et a été maintenue jusqu'à l'achèvement de la nef.

La troisième phase de la campagne du chœur (fig. I-3 : phase 3 en vert), terminée en 1214, aurait consisté à achever les voûtes du collatéral intérieur et à ériger le triforium haut et les fenêtres hautes sur toute sa longueur, comme le suggère leur uniformité de style²² (fig. I-4 et I-5). L'arrêt du chantier du chœur se situe au droit de la 8^e pile pour les collatéraux nord et sud et entre la 7^e et la 8^e pile pour les parties hautes de la nef (fig. I-6).

Outre le chaînage du triforium qui s'arrête net à la 7^e pile, on observe de nombreuses différences de part et d'autre de ce raccord comme la hauteur de butée des arcs-boutants, plus bas sur le chœur, la section des contreforts et des culées, plus massive sur la nef, le style et la forme des baies et de leur remplage à tous les étages ou encore la présence de trous de boulins en partie haute dans la nef qui possède aussi un registre de marques lapidaires différentes de celles du chœur²³.

R. Branner et J.-Y. Ribault considèrent qu'à l'issue de ce chantier, le chœur était entièrement achevé, contrairement à M. Ferauge et P. Mignerey qui pensent que les grandes voûtes sexpartites ont été construites après l'achèvement de la nef²⁴. Plusieurs observations faites au cours de cette étude et que nous détaillerons plus loin plaident en faveur de cette dernière hypothèse qui suppose un chœur inachevé, dépourvu de voûte sur le vaisseau central au moment où cette campagne de travaux se termine.

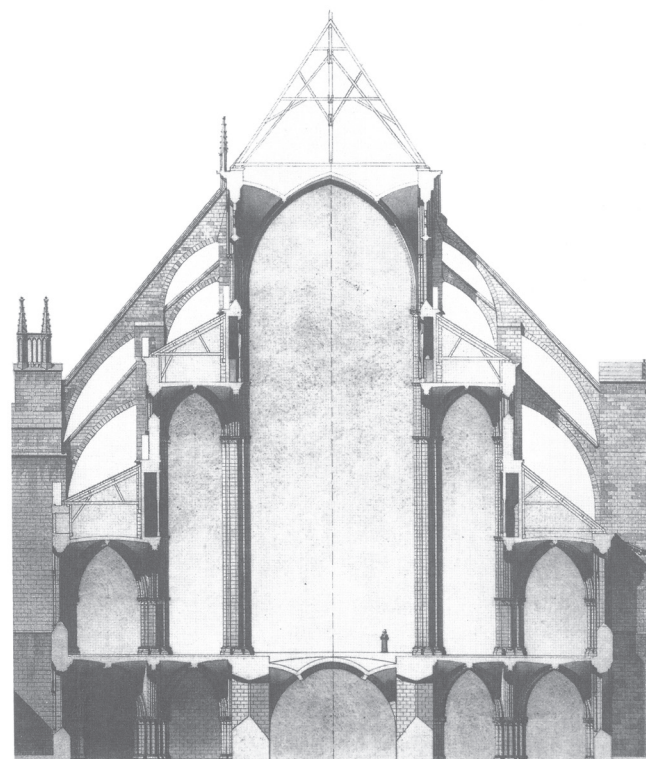


Fig. I-4 > Coupe transversale du chœur avec, à gauche, l'état actuel et, à droite, l'état restitué avant les restaurations du XIX^e siècle.
[Paul Boeswillwald, 1889, Médiathèque du Patrimoine.]



Fig. 1-5 > Façade sud de la cathédrale.

[Montage photographique, Wagner; Wikimedia Commons.]

Fig. 1-6 > 8^e pile nord, marquant l'arrêt de chantier en partie haute entre le chœur à droite et la nef à gauche.

La mise en service du chœur est attestée par une charte de 1214 qui établit des règlements sur la discipline liturgique stipulant, entre autres, que lorsque l'on chantera les heures canoniales dans le chœur, « on ne chantera pas à note dans le circuit du chœur » et lorsque l'on chantera la grand-messe dans le chœur, on ne fera aucune célébration dans le « circuit²⁵ », prouvant ainsi qu'au plus tôt en 1214 des offices étaient célébrés dans le chœur et aussi dans le déambulatoire.

À cette date, la vitrerie des fenêtres hautes et du déambulatoire devait également être posée. L'étude de ces vitraux, dont la plupart sont toujours en place, propose justement une réalisation autour de cette année 1214, d'après Y. Christe et de L. Brugger²⁶.

Il est donc probable que, lors de la mise en service du chœur, au plus tôt en 1214, les murs étaient achevés sur toute leur élévation, avec les vitraux mis en place. Toutefois, sa charpente définitive ne sera posée que 43 ans plus tard, en 1257 ou peu après d'après les datations dendrochronologiques. Et, comme nous le démontrerons ultérieurement, les grandes voûtes sexpartites n'étaient pas encore mises en place, ni les volées des arcs-boutants correspondantes (fig. I-3).

En 1214, le chœur devait alors être couvert d'une toiture provisoire apparente, dans l'attente de l'achèvement de la nef et de la pose de la charpente définitive. Il est probable que cette toiture provisoire était faite avec les bois en réemploi de la charpente de la cathédrale romane, voire avec une réutilisation des fermes complètes. En effet, le vaisseau central roman avait la même portée que celui de la cathédrale gothique et les fermes romanes pouvaient dès lors être réemployées à l'identique sur le nouveau vaisseau gothique de façon temporaire. Cette hypothèse semble en effet la plus probable pour des raisons économiques. Par ailleurs, si une charpente neuve avait été réalisée sur le chœur dans les années 1210-1214, celle-ci aurait été conservée ou bien ses bois auraient été réemployés dans celle reconstruite en 1257²⁷. Or l'absence de ces réemplois suggère que les éléments de cette charpente provisoire n'étaient pas ré-employables, comme justement les bois d'une charpente du XI^e siècle dont les sections sont inadaptées pour une réutilisation dans une structure gothique (chevrons et raidisseurs de trop faible section et entrants de trop forte section²⁸).

Cette absence des grandes voûtes sur le vaisseau central durant plusieurs décennies, dans l'attente de l'achèvement complet de la nef, se justifie par la nécessité de lever les bois de la charpente définitive, en fin de chantier, du sol jusqu'en haut des murs. Ce levage des bois, qui suit le montage de la charpente sur toute la longueur de la cathédrale, ne peut en effet être réalisé en présence des voûtes. Ces dernières ont donc été mises en œuvre très vraisemblablement juste après la pose des grandes charpentes.

Une clôture provisoire

À l'achèvement du chantier du chœur, une grande cloison provisoire fut mise en place au niveau de la 8^e pile pour fermer le vaisseau central et les doubles collatéraux sur toute leur hauteur (fig. I-6). Ces traces, qui n'avaient jusqu'à présent jamais été observées, sont pourtant manifestes. On remarque en effet au droit de la 8^e pile, sur les nervures centrales du vaisseau principal et des collatéraux interne et externe, des petits crochets métalliques et des gros clous à tête recourbée insérés dans les joints, entre chaque assise de pierre (fig. I-7). Ces accroches sont placées dans l'axe transversal des travées, excepté dans le collatéral interne nord où elles sont fixées sur le flanc est de la nervure centrale. En partie haute, dans les collatéraux, ces crochets se poursuivent sur l'arc doubleau des voûtes, prouvant que celles-ci étaient achevées à cette étape du chantier. Cependant, ils ne s'observent pas sur l'arc doubleau du vaisseau central, confirmant que les grandes voûtes sexpartites n'étaient pas encore construites lors de la mise en place de cette clôture. Notons aussi, au nord comme au sud, la présence de logements, au-dessus des chapiteaux, destinés à l'insertion d'un linteau en bois qui atteste la présence d'un portail dans chaque collatéral (fig. I-8).

Ces éléments de fixation rendent compte d'une clôture légère qui devait être constituée de tentures ou de peaux fixées à une structure faite de perches et de planches, formant vraisemblablement un vaste échafaudage côté nef. Les agrafes métalliques ne semblent pas en effet assez robustes pour fixer une cloison en pan de bois ou en planches de 37 m de hauteur et de 15 m de large, trop lourde et trop instable.

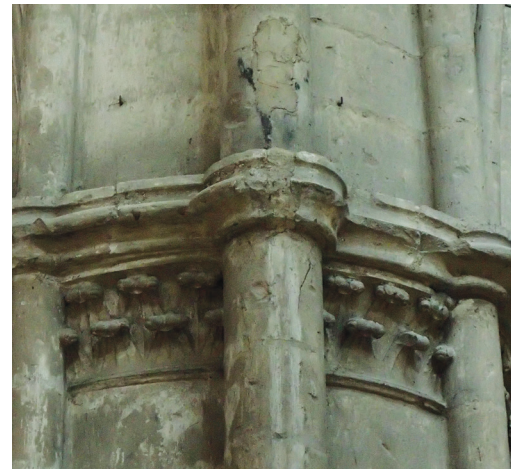


Fig. 1-8 > 8^e pile du collatéral interne sud, logement au-dessus du chapiteau pour un lindeau en bois.

Fig. 1-7 > 8^e pile sud (chœur à gauche) avec sa colonne centrale pourvue d'accroches métalliques.

Il est intéressant aussi de noter que les maçonneries du chœur sont recouvertes d'un enduit blanc très altéré, vraisemblablement du XIII^e siècle, et que cette couche picturale s'arrête nettement le long de cette clôture dans les collatéraux sur la nervure centrale (fig. I-9). Dans le vaisseau principal, cette peinture blanche recouvre la 8^e pile nord et sud de part et d'autre de cette clôture mais ne se retrouve pas sur les piles de la nef. Si cette peinture appartient bien au programme pictural d'origine, réalisé lors de la pose des vitraux en présence des échafaudages, cette clôture devait donc marquer physiquement la fermeture du chœur pour une durée qui était prévue d'être longue au moment de ce chantier, car on ne saurait expliquer autrement un arrêt aussi brutal de la mise en couleur du vaisseau et des collatéraux sur toute leur élévation.

Cette cloison, pourvue de portails dans les collatéraux, assurait donc une fermeture du chœur du sol au voûtement des collatéraux et jusqu'en haut des murs pour le vaisseau central, afin de garantir une protection contre le vent et les poussières du chantier de la nef qui était ouverte à tout vent pour la célébration des offices en 1214.

C'est au droit de cette 8^e pile, dans le vaisseau central, que le jubé a été construit, au plus tôt en 1237 selon J.-Y. Ribault²⁹ ou dans la décennie 1240-1250 selon F. Joubert³⁰. Sa construction et sa mise en service ne sont pas incompatibles avec le fonctionnement de cette cloison dont seuls les premiers mètres auraient été démontés pour lui laisser place. On ne peut en effet envisager

la dépose de cette clôture tant que les murs gouttereaux de la nef, leur fermeture par des vitraux et leur couverture par une charpente ne soient complètement achevés. Or la pose de cette charpente n'interviendra pas avant 1256. S'il y a eu mise en service du jubé dans la nef en chantier, les conditions des offices célébrés devant lui devaient donc être des plus précaires. Il est donc plus probable d'envisager la mise en place de ce jubé une dizaine d'années après sa réalisation, après seulement l'achèvement des toitures, et qu'il fut donc stocké dans cette attente.

La campagne de la nef

Jusqu'à l'achèvement de la campagne du chœur et la mise en place de la cloison provisoire, vers 1210-1220, le culte occupait l'ancienne nef romane comme l'atteste la découverte d'un maître-autel au droit de la 8^e pile gothique en 1896³¹. Sur un très court laps de temps, le culte aurait été déplacé dans l'église basse, puisque selon notre hypothèse, la charpente de la nef romane aurait été déposée puis réemployée sur le nouveau chœur gothique pour servir de couverture provisoire, en complément peut-être des bois du chœur roman déposés antérieurement, condamnant ainsi les deux vaisseaux durant ce transfert des bois.

Dès ce couverture terminé, nous pouvons supposer que la campagne de la nef fut alors engagée avec la démolition de la nef romane. Les déblais auraient alors servi à remblayer le sol et à terrasser le terrain sur plusieurs mètres de hauteur. En effet, les sondages effectués au XIX^e siècle, et notamment pour le calorifère, ont permis de repérer le sol de la nef romane à 4 m au-dessous du pavage gothique et de situer les fondations des grandes piles à plus de 8 m de profondeur. Cet important chantier de terrassement a donc dû représenter plusieurs années de travaux avant qu'il ne fût possible d'asseoir les premières assises de la nef en 1225 d'après R. Branner (fig. I-3 : en bleu).

Les anciens portails du XII^e siècle furent remontés assez tôt au nord comme au sud dans la sixième travée pour servir d'accès au chœur.

La construction de la nef et des tours de la façade occidentale aurait été réalisée simultanément, sans interruption, en élevant les murs, les piles et les culées par strates horizontales,



Fig. I-9 > 8^e pile du collatéral interne sud, arrêt de l'enduit blanc du chœur (à gauche) au droit de la colonnette centrale de la pile.

comme semblent le confirmer l'unicité stylistique, l'absence de rupture d'appareillage et un chaînage métallique qui raidit longitudinalement les parties hautes de la nef, depuis la 8^e pile jusqu'aux tours de façade³². Ce chaînage traverse les baies hautes au-dessus des chapiteaux à la naissance du réseau et semble destiné à contenir les poussées de l'arc de la baie³³. Dans le comble du collatéral intérieur, les voûtes sont toujours chaînées par des tirants transversaux au-dessus des doubleaux, depuis la première travée droite du chœur (phase 2) jusqu'aux tours de façade. Une étude récente a confirmé l'authenticité de ces tirants par la datation du métal de celui situé au droit de la 7^e pile au nord, entre 1155 et 1257³⁴.

À l'achèvement de cette campagne, la charpente du vaisseau central fut posée, d'abord sur la nef en 1256, d'après les datations dendrochronologiques des derniers abattages, puis sur le chœur en 1257, après le démontage de sa toiture provisoire. Comme nous le détaillerons plus loin, ce n'est qu'après la pose définitive de ces charpentes, de leur couverture et du rajout d'une flèche en bois sur la 8^e travée, que les grandes voûtes sexpartites furent construites sur le vaisseau central, avec les volées correspondantes des arcs-boutants. M. Ferauge et P. Mignerey ont d'ailleurs observé sur les seuls arcs-boutants conservés intacts du XIII^e siècle, au nord de l'abside, que l'arc inférieur de la première volée, destiné aux poussées des voûtes, a été rajouté sur la culée intermédiaire, sous l'arc supérieur qui sert à contreventer le mur gouttereau, ce qui confirmerait la pose des voûtes et leur contrebutement à l'issue du chantier³⁵.

Les difficultés de financement du chantier

Il est utile de rappeler ici les difficultés rencontrées par la fabrique pour financer ce vaste chantier. Aucun texte ne mentionne la contribution du roi de France ou de grands seigneurs berrichons. Par ailleurs, l'archevêque et le chapitre cathédrale ne disposaient pas de moyens importants³⁶ pour financer un projet de cette envergure. Il n'est donc étonnant d'apprendre que la cathédrale fut pourvue en 1208 de plusieurs reliques³⁷ et que les bénéfices des offrandes furent intégralement consacrés au budget de construction³⁸. L'empressement de canoniser Guillaume de Donjon, mort en 1209, avec deux requêtes infructueuses en 1210 et 1212, avant que le pape Honorius III ne l'accorde en 1218, et surtout le déplacement de ses reliques à un endroit plus accessible aux pèlerins, derrière le maître-autel, révèlent un besoin manifeste d'accroître le budget de la fabrique. Si les dons, les oboles, les offrandes et les revenus divers du chapitre et de l'archevêque contribuèrent au financement du chantier, il apparaît aussi que d'importants emprunts furent contractés et que ces derniers furent difficiles à rembourser. Pour faciliter ces emprunts, le pape Grégoire IX autorisa l'archevêque à promettre des intérêts aux créanciers, ce qui était contraire à la législation canonique³⁹. Toutefois, les sommes dues furent si importantes qu'il fut même impossible de rembourser les intérêts promis, ceux-ci représentant annuellement la totalité des revenus de l'archevêché, et il fallut de nouveau solliciter le pape en 1235 pour autoriser l'archevêque à ne rembourser que les dettes conclues dans l'intérêt de l'Église, annulant ainsi les intérêts, en contradiction avec les bulles précédentes. En 1241, ce même pape, à la prière de l'archevêque, demanda avec insistance auprès du clergé diocésain de venir en aide à l'église de Bourges, criblée de dettes⁴⁰. Vingt ans après, en 1264, Urbain IV permit à l'archevêque Jean de Sully de récupérer les revenus des prébendes vacantes

de son diocèse⁴¹. Enfin, en 1266, il fut encore nécessaire d'emprunter 500 livres tournois dont 200 furent affectées à la fabrique⁴², vraisemblablement pour la construction des voûtes.

Ces difficultés financières témoignent de l'ampleur du projet et de sa durée sur le long terme puisqu'il s'est poursuivi jusque tard dans la seconde moitié du XIII^e siècle. Si la campagne du chœur est relativement rapide (1195-1214), celle de la nef apparaît comme relativement longue puisqu'il aura fallu près de cinq décennies pour en achever le gros œuvre avec les deux tours de la façade occidentale. Les datations dendrochronologiques du beffroi de la tour sud attestent en effet un achèvement des parties hautes de cette tour en 1270.

Les chantiers postérieurs au XIII^e siècle

Rapidement, la tour sud de la façade occidentale montra des signes d'instabilité, justifiant l'obstruction de toutes ses baies, excepté celles du dernier étage. Pour la contrebuter, une tour annexe, dite pilier butant, fut érigée au sud de celle-ci au début du XIV^e siècle et pour laquelle Philippe le Bel octroya 40 livres tournois en 1313⁴³. Vraisemblablement peu après l'achèvement de ce pilier butant, l'archevêque Guillaume de Brosse procéda à la consécration de la cathédrale le 5 mai 1324.

Au cours du XV^e siècle, plusieurs chapelles furent reconstruites et, à la fin de ce siècle, un étage supplémentaire fut rajouté à la tour nord. Suite à ce dernier chantier, la tour nord s'effondra le 31 décembre 1506, ruinant les premières travées de la nef. Sa reconstruction ne fut achevée que vers 1542, accompagnée d'une restauration des portails occidentaux nord de saint Guillaume et de la Vierge⁴⁴. C'est vers la fin de ce vaste chantier, entre 1540 et 1542, que le maître d'œuvre entreprit de remplacer la flèche du XIII^e siècle située entre le chœur et la nef par une autre flèche, pourvue d'un clocheton à la base, surmontant la croisée d'un faux-transept⁴⁵.

Durant la seconde moitié du XVI^e siècle, la cathédrale connut deux événements dramatiques. Le 16 mai 1559, à cause de brandons provenant d'une maison enflammée rue Bourbonnoux, les combles des collatéraux nord et sud prirent feu et furent en grande partie détruits, sans que les grandes toitures ne fussent touchées⁴⁶. Le collatéral extérieur fut détruit depuis la tour nord jusqu'au portail latéral sud, et le collatéral intérieur depuis la tour nord jusqu'au portail latéral nord. À l'issue de cet incendie, la totalité des charpentes des collatéraux fut reconstruite. Le second sinistre intervint le 27 mai 1562 où, pendant plusieurs jours, les troupes du chef protestant Gabriel de Montgomery pillèrent la cathédrale, saccageant les autels, les statues du portail occidental et les sculptures du jubé. Seul ce dernier bénéficia d'une réparation au plâtre et d'une rénovation des peintures au milieu du XVII^e siècle, avant d'être détruit en 1758-1767 lors du réaménagement du chœur.

Ce n'est qu'à partir du milieu du XVIII^e siècle que de nouveaux travaux importants furent entrepris. Entre 1747 et 1754, le faux-transept et la flèche qui le surmontait furent supprimés en raison de leur vétusté. Ils furent remplacés par une toiture faisant la jonction entre celles du chœur et de la nef.

Tout au long du XIX^e siècle, la cathédrale subit de nombreuses restaurations dont certaines modifièrent son aspect extérieur, comme l'adjonction d'une balustrade avec pinacles à la base du grand comble, vers 1829-1830, et le rajout de clochetons et de pinacles sur les culées des arcs-boutants, entre 1840 et 1848, par les architectes Pagot et Juillien (fig. I-4). De 1882 à 1887, les grandes charpentes furent restaurées et quelque peu modifiées avant la pose d'une couverture en ardoise à crochet par l'architecte Boeswillwald. Enfin, au XX^e siècle, plusieurs chantiers touchèrent entre autres le « grand houestau » (1906-1911), les statues de la tour nord (1968-1974) et le portail Saint-Ursin (1974-1975). Depuis 1999, les travaux de rénovation portent sur les portails latéraux et occidentaux en parallèle, de 2010 à 2014, à la restauration des charpentes du grand comble, sous la direction de l'architecte en chef Patrick Ponsot.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES CHARPENTES

Les ensembles structurels

Longue de 101 m, la grande charpente du vaisseau central se subdivise en plusieurs parties, d'époques différentes (fig. I-3 ; III-2 et III-3 planche A3). De l'ouest vers l'est :

- Entre les deux tours de la façade occidentale, la première partie, longue de 9 m, couvre la demi-travée de la première voûte sexpartite, des fermes 1 à 15. Elle correspond à une reconstruction de 1882, réalisée à l'image de la charpente à chevrons-formant-fermes gothique. Elle possède quelques réemplois du XIII^e siècle de la charpente d'origine.
- La seconde partie couvre la nef sur 33 m de long jusqu'au bout de la troisième voûte sexpartite, de F16 à F67. Il s'agit d'une structure à chevrons-formant-fermes⁴⁷ subdivisée en dix travées de charpente. Seules les huit premières correspondent à la charpente d'origine, dont les datations dendrochronologiques attestent une mise en place en 1256. Les deux dernières (F57-F67) appartiennent à un remaniement de celle-ci qui est intervenu peu de temps après, en 1263. Ces deux parties se distinguent par la structure des fermes, le marquage des bois, le contreventement, la section des pièces et les datations dendrochronologiques.
- La troisième partie, longue de 17 m, fait la jonction entre la nef et le chœur à l'emplacement de l'ancien faux-transept et de la flèche. Mise en place en 1747, cette charpente à fermes et pannes comporte six fermes à portique.
- La quatrième partie couvre le chœur sur 35 m jusqu'à la croupe absidiale. Elle est à chevrons-formant-fermes et présente une structure similaire à celle de la nef. D'après les datations dendrochronologiques, elle a été mise en place juste après celle de la nef, en 1257.
- Enfin, la croupe absidiale qui termine le vaisseau, de plan semi-circulaire, appartient aux remaniements de 1882 avec en réemploi de nombreux bois de la croupe d'origine, datés aussi de 1257.

La flèche et le faux-transept

La flèche du XIII^e siècle

D'après les analyses dendrochronologiques, les grandes charpentes du vaisseau principal furent mises en place successivement, d'abord sur la nef en 1256, puis sur le chœur en 1257. Peu après leur achèvement, elles connurent un premier remaniement. Comme nous le détaillerons

plus loin, en 1263, soit huit ans seulement après la pose des charpentes du vaisseau principal de la nef, la partie centrale du comble fut entièrement démontée pour pouvoir rajouter une flèche en bois et un faux-transept au droit de la 4^e travée de voûtes.

Faute de transept dans le plan de l'édifice, ces ouvrages en bois devaient matérialiser dans la toiture une croisée par un comble transversal, terminé à chaque bout par un pignon au droit des murs gouttereaux, avec une flèche coiffant la croisée. D'après la datation des premiers abattages de bois destinés à ce chantier, ce projet fut initié dès 1259, soit juste après l'achèvement des grandes toitures. Il ne subsiste malheureusement plus rien de ces ouvrages, mais leur représentation nous est parvenue dans la miniature de l'Adoration des Mages de Paul de Limbourg, de 1412-1416, extraite des *Très Riches Heures du duc de Berry*⁴⁸ (fig. I-10) et dans celle de Jean Colombe n° 315 des *Heures de Laval* exécutée vers 1480 (fig. I-11). Un doute subsiste sur l'origine du faux-transept puisque la miniature de Limbourg ne montre que la flèche ; mais quel crédit accorder à la précision de ces miniatures ?

Dans la charpente, on conserve toutefois le négatif de ce chantier, dans les deux travées qui jouxtaient ce faux-transept à l'ouest, sur la 3^e travée de voûtes. Les fermes 57-67 furent en effet démontées pour permettre le levage de cette flèche, puis remontées à l'issue du chantier. Leur remontage réemploya une grande partie des pièces d'origine, avec en complément des bois nouvellement abattus, ce qui a permis de dater ce chantier. Parmi les bois réemployés, on compte de nombreux chevrons qui présentent en face extérieure des clous pour un lattis de couverture. Ces fermes portaient bien alors une couverture au moment de leur démontage, attestant que cette reprise est bien intervenue après l'achèvement définitif des toitures, comme une sorte de repentir, au regard du couvrement terminé.

Lors de la construction de ces ouvrages, non prévus initialement, deux puissants arcs doubleaux à double rouleau furent construits au-dessus des voûtes du vaisseau central, au droit des 7^e et 8^e piles, pour asseoir la base de la flèche (fig. I-12). On observe en effet que ces arcs, toujours conservés, ne sont pas chaînés aux murs et qu'ils ont bien été rajoutés postérieurement. Cette



Fig. I-10 > Les Très Riches Heures du Duc de Berry, f° 52, Adoration des Mages, miniature enluminée attribuée aux frères Limbourg, 1416. [Chantilly, Musée Condé.]

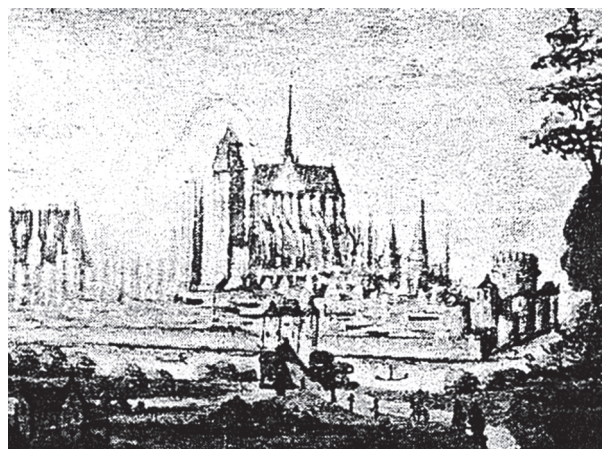


Fig. I-11 > , Heures de Laval, n° 315, Miniature de Jean Colombe, vers 1480. [Paris, BnF, ms. fr. 920.]

Fig. I-12 > Arc doubleau
situé au droit de la 8^e pile,
enjambant la voûte,
et destiné à porter la base
de la flèche.



flèche était donc assise entre les 7^e et 8^e piles et marquait la naissance du chœur (fig. I-1), comme sur de nombreux autres édifices du XIII^e siècle. Pour compenser la poussée de ces arcs sur les murs gouttereaux, une volée d'arcs supplémentaires a été rajoutée aux arcs-boutants des 7^e et 8^e piles comme on peut le voir sur deux représentations des années 1830 (fig. I-13 et I-14), avant qu'elle ne soit retirée lors des restaurations de la seconde moitié du XIX^e siècle.

La reconstruction de la flèche au XVI^e siècle et ses remaniements

Il faut attendre le XVI^e siècle pour noter d'importants remaniements dans la charpente, notamment ceux intervenus à la suite de la reconstruction de la tour occidentale nord et qui ont consisté à remplacer la flèche du XIII^e siècle et probablement aussi le faux-transept. Les textes mentionnent en effet le démontage de cette flèche en 1539, pour cause de vétusté, et sa reconstruction entre 1540 et 1542⁴⁹. Le traité fut conclu entre le chapitre, un charpentier et un voiturier pour cette période « pour abattre et ecarriir bois en la forêt de Saint-Palais et le conduire au cloître de l'église pour la réédification du clocher et réparations de l'église⁵⁰ ». Les textes mentionnent aussi sa couverture en plomb et un coût total estimé à 200 000 livres. Il ne subsiste de cet ouvrage que quelques fragments de chevrons en réemplois dans la charpente actuelle qui ont été datés par dendrochronologie entre 1528 et 1559.

Les représentations de cette construction sont heureusement plus nombreuses et montrent une flèche de grande élévation, axée sur l'arc doubleau de la 7^e pile (fig. I-1), avec un faux-transept à pignons droits ouvragés (fig. I-15 et I-16). Le levage aurait été fait depuis la nef après percement d'un voûtain pour le passage des bois.

Le 16 mai 1559, un incendie se propagea à l'ensemble des combles des collatéraux nord et sud, sans que les grandes toitures ne fussent touchées⁵¹. Actuellement, il ne reste aucun bois ni aucune trace des dispositions de la charpente d'origine des collatéraux.

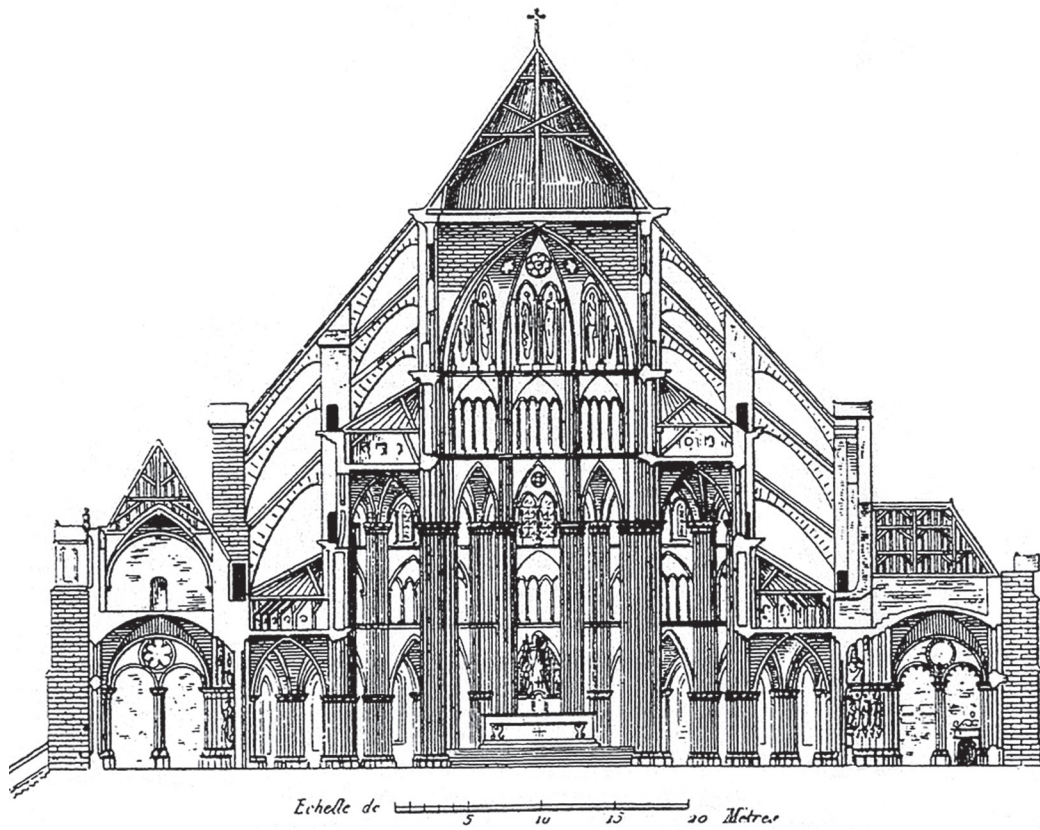


Fig. I-13 > Dessin d'une coupe transversale
avec les trois volées d'arc-boutant.
[Romelot 1824, p. 129.]

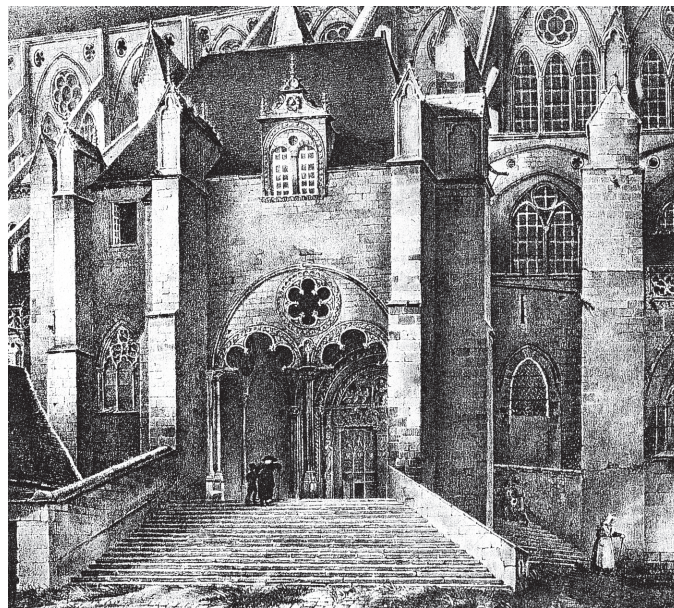


Fig. I-14 > Portail latéral nord avec,
en arrière-plan, les arcs-boutants
des 7^e et 8^e piles pourvus
d'une 3^e arcade supérieure.
Dessin de Hazé,
Album du Berry lithographié,
dédié et présenté à S. A. R. Madame,
duchesse de Berry,
1^{re} partie, Bourges, 1830.

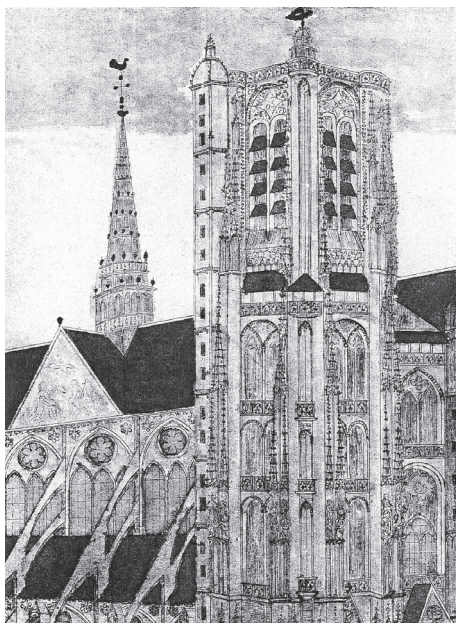


Fig. I-15 > Représentation de la flèche et du faux-transept de 1542, fragment d'un dessin pour vue optique (*vue inversée*) d'Étienne Martellange (vers 1615). [Roger et Gauchery 1916, pl. V.]

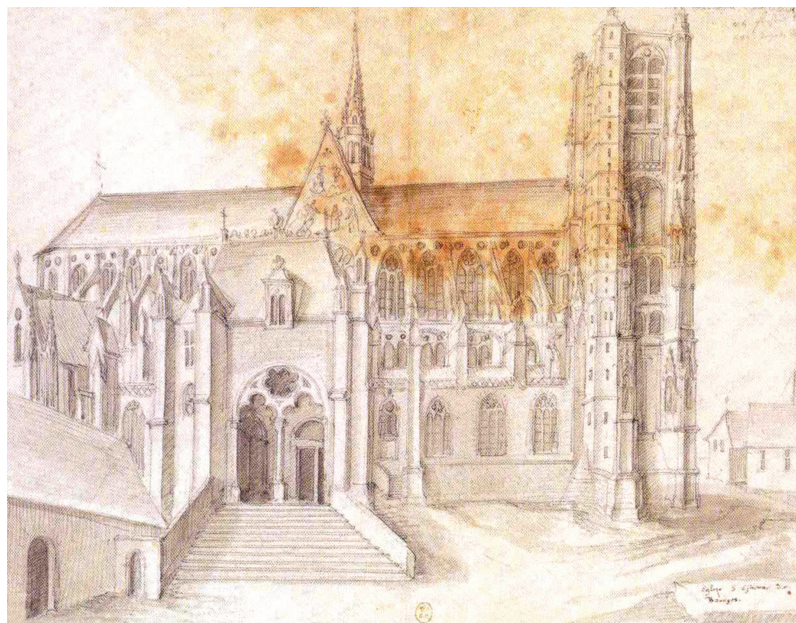


Fig. I-16 > Flanc nord de la cathédrale de Bourges. Dessin d'Étienne Martellange, vers 1621. Mine de plomb et lavis d'encre. [Paris, BnF, département des Estampes et de la Photographie.]

Il est vraisemblable qu'à la fin du XVII^e siècle la flèche du grand comble, construite en 1542, ait été profondément remaniée avec la suppression des étages supérieurs et la pose, au-dessus du premier niveau conservé, d'un dôme en bois, tel que le représente un dessin de 1745 signé Marsault et Ferrand⁵² (fig. I-17). Un incendie ponctuel mentionné « près du clocher en plomb » le 2 mars 1699⁵³ pourrait en être la cause⁵⁴, ou bien l'état de dégradation avancé de l'ouvrage comme le relate une requête présentée au roi par les chanoines et le chapitre en 1714⁵⁵. Le procès-verbal d'une visite établie suite à cette demande révèle en effet d'importantes déformations et une forte inclinaison de la flèche⁵⁶. En 1745, un autre devis précise cette dégradation et conclut à la démolition de la flèche et du faux-transept⁵⁷, ce qui fut fait l'année même pour la flèche et en 1747 pour le faux-transept par les maîtres charpentiers Vincent Marsault et François Ferrand.

En remplacement de ces ouvrages, une charpente à fermes et pannes de six fermes à portique fut réalisée par ces mêmes charpentiers pour rejoindre les toitures de la nef et du chœur (fig. I-18 ; III-2 et III-3 planche A3). Cette charpente fut réalisée conformément au marché signé Marsault et Ferrand⁵⁸. Les entrails retroussés de deux fermes portent leur signature : « JACQUE MARSAULT 1747 » pour le premier et « FRANCOIS MARSAULT 1747 » pour le second (fig. I-19). Les abatages des bois de cette charpente commencèrent dès l'automne-hiver 1745, comme en témoigne la datation dendrochronologique d'un des entrails.

Pour descendre les bois venant du démontage de la charpente du XVI^e siècle et pour le levage de ceux de la nouvelle structure, les maîtres charpentiers avaient prévu dans le marché d'ouvrir la voûte à l'emplacement du chantier, avec un plancher de travail et un cabestan établis sur les

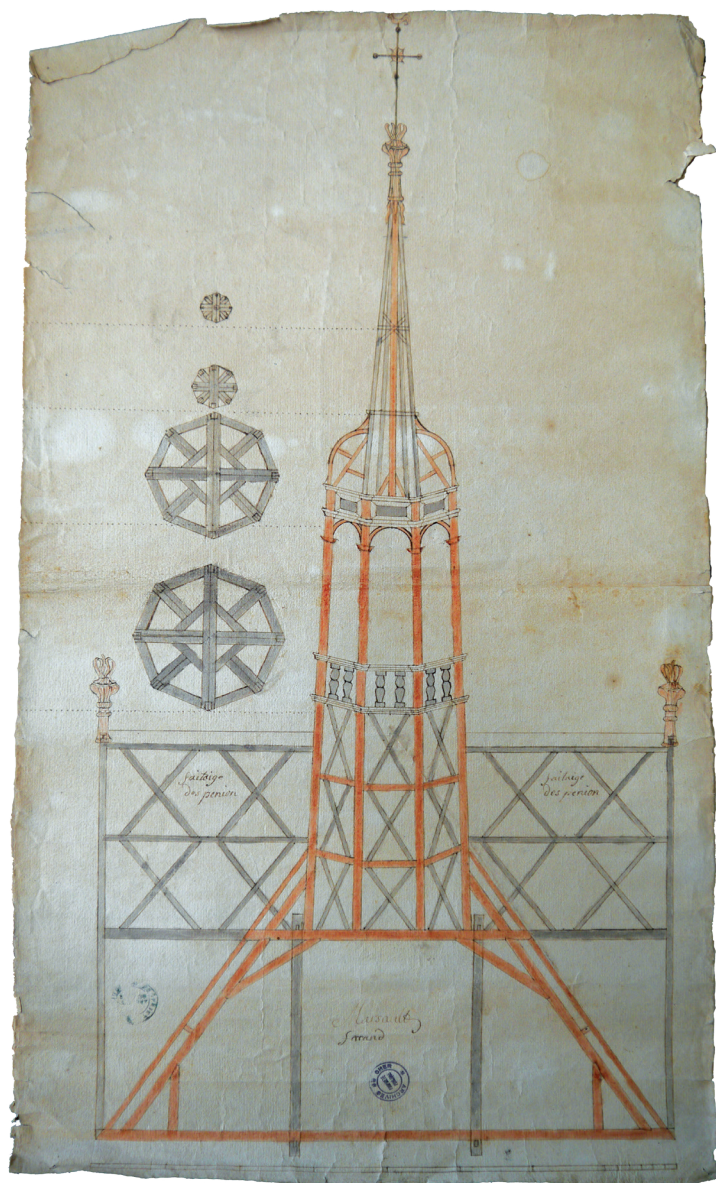


Fig. I-18 > Vue des fermes à portique de la charpente de 1747.

Fig. I-17 > Coupe de la flèche et du faux-transept signée Marsault et Ferrand, 1745. [AD Cher : 8 G 402.]

Fig. I-19 > Millésime du maître charpentier « JACQUE MARSAUT 1747 ».





Fig. I-20 > Cabestan à arbre vertical avec son cordage, 1745, tour sud.

deux arcs doubleaux des 7^e et 8^e piles. En raison vraisemblablement de la gêne que cela aurait occasionnée pour les offices, le passage des bois fut déplacé dans la première travée occidentale du collatéral sud, entre la nef et tour sud, où un oculus dans la voûte permettait la descente et le montage des pièces⁵⁹. Le cabestan fut installé dans une salle contiguë dans la tour sud avec plusieurs renvois de poulies pour hisser en hauteur les bois depuis l'oculus. Il y est encore conservé avec son cordage d'origine (fig. I-20). Un

passage de planches fut établi depuis cette

salle jusqu'au chantier, sur toutes les fermes de la nef, afin d'y transporter les poutres. Le déplacement forcé de cette opération de levage, loin du montage de la charpente, avec les aménagements destinés au transport des bois, a généré un surcoût de 80 livres pour le chantier. On comprend dès lors pourquoi les maîtres charpentiers avaient proposé un levage des bois au droit du chantier afin de simplifier la manutention de bois longs et aussi pour en limiter le coût. Ces questions méritent d'être soulevées à propos du levage de la charpente du XIII^e siècle, et notamment de celui de très nombreuses pièces de 14 m de long qui supposent une logistique efficace et peu onéreuse, afin de ne pas ralentir la progression du chantier.

À noter, enfin, que tous les chevrons de la charpente mise en place de 1747 sont des réemplois des bois issus de la flèche et du faux-transept de 1542. Aucun de ces bois n'est malheureusement complet puisqu'ils furent tous coupés dans leur longueur pour en faciliter leur manutention et leur réemploi.

Les restaurations du XIX^e siècle

Jusqu'au XIX^e siècle, la charpente gothique n'avait connu aucune réfection. En 1827, dans un souci purement esthétique de renforcer le caractère médiéval de l'édifice, l'architecte Pagot entreprit de rajouter des pinacles de style néo-gothique sur les culées des arcs-boutants et à la base de la grande toiture, qui s'est vue agrémentée également d'une balustrade, au détriment de toute réalité archéologique (fig. I-4). Cette création du XIX^e siècle a entraîné une profonde modification des chéneaux du XIII^e qui étaient encore en place le long de la toiture. Deux pierres de ces chéneaux d'origine réemployées dans le gouttereau sud, juste sous les sablières, nous permettent de restituer le dispositif primitif (fig. I-21). Ces chéneaux assuraient la collecte des eaux pluviales par un canal de 7 cm de profondeur et de 57 cm de large taillé dans l'épaisseur même de la corniche⁶⁰. Des tuyaux de descente et des gargouilles devaient collecter les eaux de pluie depuis ces chéneaux mais, par forte pluie, les eaux devaient se déverser directement sur les collatéraux. La mise en place des balustrades en 1827 a provoqué d'importantes

Fig. I-21 > Évolution des chéneaux du XIII^e au XIX^e siècle.
En bas, réemploi d'un chéneau du XIII^e siècle dans une corniche,
en position retournée.

infiltrations des eaux dans la charpente et ainsi le pourrissement des sablières, comme le mentionne un rapport de 1852⁶¹.

Ce problème fut résolu lors d'un vaste chantier de restauration de la charpente de 1882 à 1887, commencé par l'architecte diocésain Antoine-Nicolas Bailly et achevé par Paul Boeswillwald. Celui-ci releva la base de la charpente en amputant le pied des fermes et en y insérant une corniche en pierre afin d'isoler les sablières du fond du chéneau, à l'origine des infiltrations (fig. I-21). Toutes les sablières furent alors refaites à neuf, de même que les blochets qui furent remplacés chacun par deux moises boulonnées (fig. I-22). Le pied des chevrons et des jambes de force fut donc raccourci de plusieurs dizaines de centimètres. Ces travaux entraînèrent le rehaussement de tous les entrails dont la plupart furent également amputés d'une partie ou bien renforcés aux extrémités par des moises et des coffrages. Plusieurs de ces entrails furent retournés. Afin de suspendre chacun de ces entrails au poinçon, dont le bout inférieur fut également raccourci, des étriers métalliques, associés à des pièces intermédiaires, furent mis en place.

Lors de ce vaste chantier de restauration de 1882-1887, le contreventement longitudinal du XIII^e siècle fut entièrement démonté. Il avait pourtant été consolidé quelques décennies plus tôt par des boulonnages comme en témoignent les traces d'oxydation des rondelles métalliques sur les poinçons au droit des assemblages avec ce contreventement. Ce type de boulonnage s'observe également sur la plupart des assemblages de la charpente. Un nouveau contreventement fut alors mis en place, plus léger, constitué d'un faitage et de deux grands liens en croix de Saint-André par travée, assemblés en tête au faitage et en pied aux poinçons, raidis par deux cours longitudinaux de moises en bastinges de chêne boulonnées (fig. I-23).

Boeswillwald reconstruisit entièrement la charpente située entre les deux tours occidentales, en reproduisant une structure à chevrons-formant-fermes à l'image de celle du XIII^e siècle, dans l'esprit des restitutions néo-gothiques réalisées vers 1835 sur les extérieurs de la cathédrale. Pour cette charpente, il réemploya de nombreux éléments provenant de la charpente précédente qui semble avoir été celle d'origine. Celle-ci aurait donc été préservée en partie lors de la reconstruction de la voûte sous-jacente en 1517-1518, suite à l'effondrement de la tour nord en 1506. En effet, les comptes de ce chantier ne mentionnent pas d'importants travaux

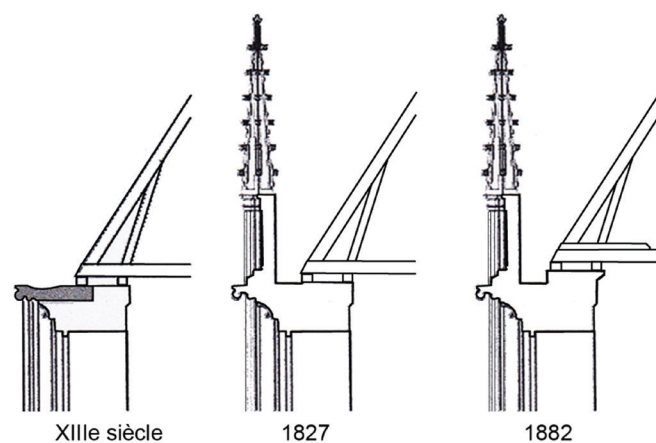




Fig. I-23 > Contreventement mis en place en 1882.

Fig. I-22 > Pied de fermes avec les blochets en moises et sablières du XIX^e siècle (fermes 33 et 34).



de charpenterie sur la nef, ce qui suggère que la charpente d'origine aurait été préservée en partie lors de ce désastre.

L'architecte Boeswillwald refit également le comble qui couvre l'espace compris entre la nef et la tour sud⁶² ainsi que la croupe de l'abside du chœur dont il réemploya la quasi-totalité des chevrons d'origine de même que plusieurs entrails.

Pour la reprise en sous-œuvre des sablières et des entrails de la charpente, Boeswillwald entreprit aussi un renforcement général de la charpente du XIII^e siècle par le rajout de moises et de planches épaisses en chêne en plusieurs endroits. Ces éléments rajoutés et boulonnés aux fermes permirent surtout la consolidation de l'ensemble de la charpente, fragilisée par son vieillissement et ses déformations. En effet, sur la nef et le chœur, tous les chevrons accusaient un fléchissement très prononcé, de l'ordre de 10 à 20 cm sur leurs 13 m de portée. Pour compenser cette courbure et rectifier la pente pour la toiture en ardoise, Boeswillwald mit en place un dispositif ingénieux. Chaque chevron fut moisé par ses flancs avec de longues planches épaisses en chêne aboutées par enture biaise, permettant ainsi de les contenir, en empêchant toute flexion supplémentaire, et de redonner une pente droite aux versants (fig. I-24). Entre ces moises, dans le creux laissé par la flèche des chevrons, les charpentiers déposèrent les

Fig. I-24 > Avant restauration, chevrons moisés en 1882 par des planches épaisses en chêne.

bois du XIII^e siècle non réemployés provenant du contreventement longitudinal démonté lors de ce chantier, vraisemblablement pour des raisons de conservation puisque ces fourrures n'étaient en aucun cas nécessaires.

Il faut donc souligner ici la qualité et l'exemplarité de cette restauration de Boeswillwald qui a su consolider la charpente médiévale en conservant le maximum d'éléments en place par des systèmes de moilage efficaces et pérennes et qui a eu l'esprit de préserver la mémoire de cette structure en réemployant systématiquement les rares bois déposés, que ce soit pour la croupe que pour le contreventement longitudinal. Ces réemplois, qui avaient aussi une justification économique, ont permis surtout, pour notre présente étude, de restituer ces structures disparues.



Les travaux du XXI^e siècle

Suscitée par le mauvais état de la couverture en ardoise, une nouvelle campagne de restauration fut entreprise sur les grandes toitures de la cathédrale, de 2010 à 2014. À cette occasion, les charpentes furent l'objet d'une vaste reprise structurelle sur l'ensemble du grand vaisseau.

En raison des importantes restaurations de la fin du XIX^e siècle, les charpentes étaient stables, consolidées et dans un bon état sanitaire, ce que souligne d'ailleurs en 2007 l'étude préalable déposée par l'architecte en chef des Monuments historiques, hormis deux entrants du XVIII^e siècle. Faute de reprise structurelle majeure à effectuer, l'objectif du nouveau chantier fut de dé-restaurer la charpente du XIII^e siècle afin de revenir à son état originel en la purgeant des rajouts du XIX^e⁶³.

Les travaux ont donc consisté à supprimer tous les dispositifs de renfort du XIX^e siècle de la charpente médiévale tels que les bastaings qui renforçaient les raidisseurs et les moisés en chêne qui enserraient tous les chevrons et servaient à contenir leur flexion et à rectifier la pente du toit. De fait, la flèche des chevrons fut comblée par des fourrures (fig. I-25) afin de combler leur forte incurvation jusqu'à retrouver un versant droit.

D'après l'étude technique, il fut préconisé de remplacer par des bois neufs certains chevrons des fermes principales du XIII^e siècle. Toutefois, particulièrement sur la nef, ce furent tous les chevrons des fermes principales qui furent remplacés, soit un chevron sur cinq, alors que la



Fig. I-25 > Après restauration, les planches sont déposées et substituées par des fourrures qui viennent en appui sur les chevrons, déjà fortement fléchis, doublant leur épaisseur. Remplacement systématique d'un chevron d'un cinq avec des bois neufs. Pose de feuillards métalliques.

plupart étaient en bon état de conservation. Leur remplacement ayant entraîné de fait celui d'autres pièces secondaires, on estime, toujours sur la nef, que 1/6^e des bois d'origine a été changé, sans que les bois déposés n'aient été réemployés par ailleurs.

À noter aussi le rajout de feuillards métalliques posés dans le plan des chevrons pour les contreventer et de tirants en métal placés sous les entrants pour les aider dans leur effort de traction.

Ce chantier a suscité certaines réactions suite au remplacement de nombreux bois du XIII^e siècle. Elles ont donné lieu à des échanges argumentés entre les responsables de la restauration et l'auteur de ces lignes sur la justification de ces travaux et la déontologie à appliquer lors d'une restauration d'une charpente du XIII^e siècle sur un monument protégé, mettant en lumière des différences notables de points de vue. Nous renvoyons le lecteur à l'annexe 1, en fin d'ouvrage, qui détaille les arguments des deux partis sur ce débat controversé mais qui ne saurait avoir sa place dans l'analyse scientifique de la charpente.

LES DATES D'ABATTAGE ET DE MISE EN ŒUVRE DES CHARPENTES

Quatre campagnes d'analyses dendrochronologiques ont été réalisées sur les grands combles de la cathédrale entre 1998 et 2014. La première, faite par le laboratoire Archéolabs sur la charpente du chœur et l'abside, portait sur 22 échantillons dont deux seulement ont pu fournir une date d'abattage⁶⁴. La seconde, menée en 1999 par le même laboratoire sur la nef, n'a porté que sur quatre prélèvements dont un seul a livré une date précise⁶⁵. La troisième campagne a été réalisée par le laboratoire CEDRE en 2008 avec 35 échantillons supplémentaires mais l'interprétation des résultats restait encore délicate faute de cambium prélevé⁶⁶. Afin de répondre convenablement aux besoins de cette étude, une quatrième campagne fut entreprise par le laboratoire CEDRE⁶⁷ avec un protocole de prélèvement présenté dans un cahier des charges :
 – Chaque carotte est complétée par un prélèvement d'aubier avec cambium afin d'obtenir pour chaque échantillon l'âge complet de l'arbre et sa saison d'abattage.

- La localisation précise des prélèvements doit répondre aux questions soulevées par les relevés et l'analyse archéologique de la charpente.
- La datation de chaque phase constructive doit être validée par au moins dix prélèvements datant.

Les carottages furent répartis de façon homogène sur l'ensemble de la charpente du XIII^e siècle, avec en moyenne huit prélèvements par travée de cinq fermes. Tous les entrants et les poinçons des fermes principales furent prélevés. Les parties hautes des fermes furent également carottées, en privilégiant les bois qui avaient conservé leur aubier.

Au-delà de la datation des campagnes d'abattage et l'étude de la chronologie des chantiers de construction, l'objectif de cette étude est d'exploiter les données dendrologiques afin de tirer le maximum d'informations sur les arbres correspondants et leur environnement. Ce travail d'analyse dendrologique, réalisé par le laboratoire Dendrotech⁶⁸ puis par EFC Lab⁶⁹, fut donc complété par des mesures dendrométriques des bois d'œuvre utilisés dans les charpentes (mesure des sections, nœuds, déformations naturelles, profil des troncs, mode de débitage, longueur et diamètre des fûts...). La synthèse de ces données permet *in fine* de déterminer le profil écologique des arbres, les types de peuplements forestiers abattus, leur densité, leur âge, ainsi que leur gestion par l'homme.

Ainsi, sur les charpentes du XIII^e siècle du vaisseau principal, 291 bois furent prélevés, avec un résultat de 249 datés à la saison près, soit 88 % des échantillons. Seuls six bois n'ont pu être datés. À cela, il faut rajouter 32 prélèvements réalisés sur le beffroi de la tour occidentale sud, sur des bois fortement érodés avec très peu d'aubier conservé mais qui ont pu dater précisément la mise en œuvre de cet ouvrage à l'année près avec onze échantillons avec cambium.

Outre ces analyses, une datation isolée a été effectuée sur des couchis conservés en place sur les voûtains du couloir nord de l'église basse, avec une date voisine de 1206⁷⁰.

Les abattages des bois de la nef (F16-F67)

Sur les 120 échantillons datés selon le protocole établi, prélevés sur les bois en place et aussi sur ceux déposés lors des travaux de restauration, 105 présentent une date d'abattage précise (annexe 2).

Ces datations mettent en évidence la complexité des approvisionnements pour la mise en œuvre de la charpente de la nef puisque 17 saisons d'abattage⁷¹ distinctes ont été reconnues (fig. I-26 et I-27). Ces abattages sont étalés sur cinq périodes pendant lesquelles les bois ont été abattus principalement en automne-hiver : 1230-1232, 1236-1240, 1242-1244, 1253-1255 et 1259-1262 pour les deux dernières travées remaniées. Pour la partie en place de la nef (F16-F56) qui appartient à la phase de mise en œuvre d'origine, deux pics d'abattage se remarquent entre 1236 et 1243 et en automne-hiver 1254-1255, témoignant deux grandes campagnes de coupe.

Localisation des prélèvements	Année d'abattage	Nombre d'échantillons	Mise en œuvre/levage
Nef (F16-F67)	1230-1232 BF	3	1256
	1236-1240 BF	24	
	1242-1243 BF	25	
	1244 BF	1	
	1246 BF	1	
	1253 BF	4	
	1254BF	17	
	1255 BI/BF	9	
Nef (F56-F67)	1259-1262 BF	18	1263 ou peu après
Chœur (F107-croupe)	1246 BF	1	1257 ou peu après
	1255 BF	2	
	1256 BF	156	

Tableau > Abattages.

1256 BF : bois final (abattage en automne-hiver 1256-1257). 1256 BI : bois initial (abattage au printemps 1256).

Les bois issus de ces multiples coupes, comprises entre 1230 et 1255, sont mélangés dans la charpente et au sein même des fermes, depuis les fermes 16 à 56. Par exemple, dans la ferme 21, le poinçon est issu d'un bois abattu en 1238 tandis que sa contrefiche sud provient d'un bois coupé en 1242. *Idem* pour d'autres fermes. D'après les relevés, ces bois sont bien en place et ne correspondent pas à des réparations. Ces bois, issus de multiples coupes étalées dans le temps, furent donc stockés dans l'attente de leur mise en œuvre finale. Leur stockage puis leur mise en œuvre ont provoqué leur mélange, ce qui explique la diversité des dates d'abattage au sein de la structure. Pour cet ensemble (F16-F56), les derniers abattages en automne-hiver 1255-1256 situent la mise en œuvre de la charpente de la nef en 1256.

D'après cet échantillonnage, les abattages commencèrent dès 1230 de façon assez limitée pendant quatre ans avec proportionnellement de faible quantité de bois. Après une pose de trois ans, les coupes reprirent en 1236 et s'intensifièrent progressivement jusqu'en 1244. Elles cessèrent ensuite durant une décennie pour reprendre progressivement en 1253 jusqu'à l'automne-hiver 1255-1256, avec une dernière grande campagne d'abattage qui compléta l'approvisionnement en raison de l'imminence du chantier de mise en œuvre.

Dans les deux dernières travées orientales de la nef (F56-F67), la charpente a été fortement remaniée. Les fermes présentent en effet de nombreux réemplois de la charpente mise en place en 1256, complétés par des bois verts n'ayant aucune trace de réutilisation. Les dates d'abattage des réemplois appartiennent aux mêmes campagnes de coupes que celles des bois des travées précédentes de la nef (1230-1232, 1238-1243, 1253-1255), alors que les bois verts ont été tous abattus lors de coupes étalées entre 1259 et l'automne-hiver 1262-1263. Le remaniement qui a touché ces deux travées suppose ainsi un démontage complet de cet ensemble, puis un remontage à l'identique en réutilisant les anciens bois déposés, que l'on peut donc situer juste après les dernières coupes de 1263. Ce remaniement confirme que la charpente de la nef avait été mise en œuvre et levée entre 1256 et 1263.

Les abattages des bois du chœur (F107-croupe)

De la ferme 107 à la croupe, soit l'ensemble de la charpente du chœur, 171 échantillons ont été prélevés sur des éléments en place de la charpente, répartis là aussi de façon homogène sur l'ensemble des pièces de la charpente, avec 157 d'entre eux qui ont pu être datés avec leur cambium, ce qui a permis de définir la date d'abattage des bois à la saison près pour 91 % d'entre eux (annexe 2 et fig. I-26 et I-27).

Sur ces 171 échantillons, 136 (79 %) désignent un abattage en automne-hiver 1256-1257 (1256 BF⁷²), deux en automne-hiver 1255-1256, un en automne-hiver 1246-1247. Pour les échantillons dont les tout derniers cernes sont à proximité immédiate du cambium, 23 concernent un abattage vers 1256, et 10 autres, plus incertains, dans cette décennie. Deux n'ont pu être datés. Ainsi, excepté trois bois provenant d'un surplus des stocks destinés à la nef, la quasi-totalité des bois datés sont issus d'une unique et grande phase d'abattage durant l'automne-hiver 1256-1257. La mise en œuvre de la charpente du chœur peut donc logiquement se placer en 1257 ou peu après.

La proximité des dernières coupes entre les bois de la nef en automne-hiver 1255-1256 et ceux du chœur en automne-hiver 1256-1257 pourrait laisser penser à une mise en chantier commune de ces deux charpentes en 1257 ou peu après, une fois les coupes terminées. Cependant, on observe une répartition bien nette des abattages entre la nef et le chœur (fig. I-27). Les bois abattus en automne-hiver 1256-1257 sont localisés exclusivement dans le chœur et aucun d'entre eux n'a été identifié dans la nef. *Idem* pour ceux de la nef, excepté quelques résidus de stock isolés dans la charpente du chœur (3 échantillons sur 171). Ainsi, les abattages de 1253 en automne-hiver 1255-1256, qui sont venus compléter les coupes précédentes (1230-1244), ont servi spécifiquement et quantitativement à la construction de la charpente de la nef. Celle-ci a donc été mise en œuvre et levée en 1256 en consommant la majorité des bois abattus entre 1230 et 1255, avant les abattages massifs de l'automne-hiver 1256-1257 qui furent destinés à la charpente du chœur, montée

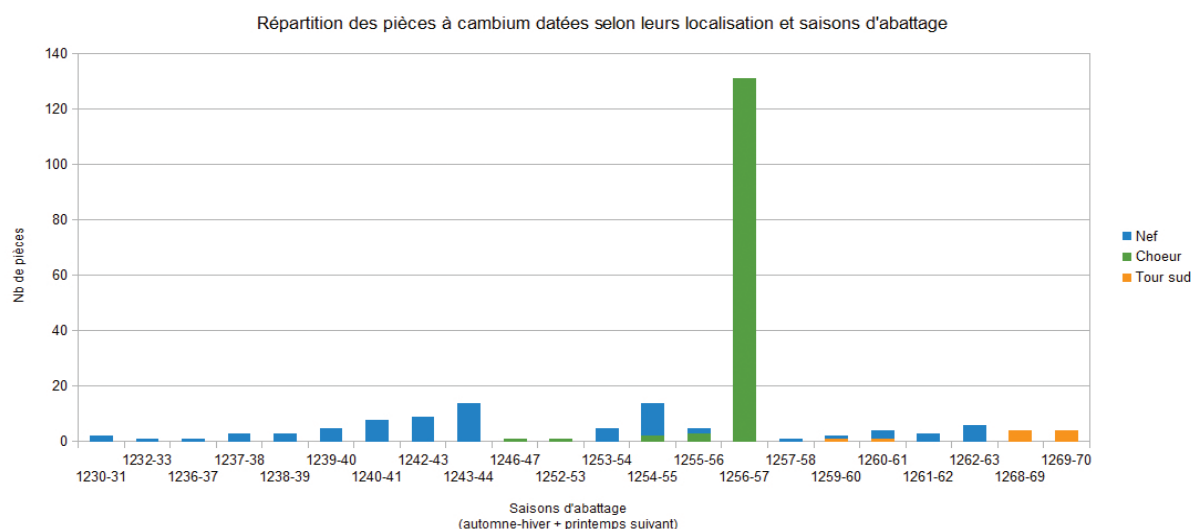


Fig. 26 > Répartition des pièces à cambium datées selon leurs localisation et saisons d'abattage. [Dendrotech 2015.]

l'année suivante en 1257 ou peu après, avec quelques bois résiduels des stocks précédents. Par ailleurs, comme cela sera détaillé plus loin, les sections des bois de la nef et du chœur sont différentes, ainsi que la structure des fermes, prouvant que ces deux structures ont bien fait l'objet d'un chantier distinct. Ces deux charpentes ont donc été montées successivement sur deux années consécutives avec deux lots de bois issus de coupes bien distinctes.

La plus grande majorité des abattages datés précisément par la dendrochronologie sur ces charpentes atteste des coupes durant la période de repos végétatif des bois, en morte-saison, comme on le constate pour la majorité des charpentes médiévales et, également, dans les textes de cette période. De nombreuses raisons l'expliquent : disponibilité de la main-d'œuvre locale pour les coupes et le débardage du fait de l'arrêt des travaux des champs et des chantiers ; préservation de la capacité de rejeter des souches pour régénérer la parcelle⁷³ ; limitation de la fermentation du bois et du risque de pourrissement ; meilleur transport fluvial des bois (haut débit des rivières, meilleure flottabilité des grumes) ; facilité de taille des bois abattus en basse sève ; etc.

NOTES

- 1 › Épaud 2011.
- 2 › Luchaire 1885 : n° 427.
- 3 › Velhagen 1996, p. 337-332.
- 4 › Raynal 1844, p. 558-559.
- 5 › Branner 1962, p. 19.
- 6 › Gauchery et Branner 1953, p. 105-123 ; Ribault 1995 (1), p. 8.
- 7 › Son plan dissymétrique s'explique par le fait que son chevet plat s'appuie contre le rempart, orienté NNO-SSE, rappareillé.
- 8 › Ribault 1996, p. 15.
- 9 › Branner 1957, p. 263-270 ; Ribault 1995 (1), p. 51. Leur analyse stylistique a montré que ces portails n'appartiennent pas, à l'évidence, au *corpus* de la sculpture gothique de la cathédrale.
- 10 › Branner 1962, p. 4.
- 11 › *Premier cartulaire*, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f° 52 (publié par Raynal 1844, p. 559-560).
- 12 › *Ad hoc quia Ecclesia nostra reparatione non modicum indiget ad ipsius reparationem ad opus fabricae ius omne quod de cetero nobis proveniet...* (*Ibid.*, p. 560.)
- 13 › Branner 1962, p. 51. Lors de cette phase, la crypte romane fut condamnée. Elle ne fut redécouverte et rendue accessible qu'au XVIII^e siècle (Gauchery et Branner 1953, p. 114 ; Ribault 1996, p. 7).
- 14 › Ribault 1996, p. 16.
- 15 › *Locus enim in quo sermonem habuit ad populum omni ex parte vento erat expositus*, *Analec̄ta Bollandiana*, t. III, 1884, p. 274-325 [cité dans Ribault 1995 (1), p. 66].
- 16 › Ribault 1995 (1), p. 66.
- 17 › Branner 1962, p. 60.
- 18 › Hugoniot 1996, p. 17-29.
- 19 › Branner 1962, p. 42.
- 20 › L'Héritier 2016, p. 457.

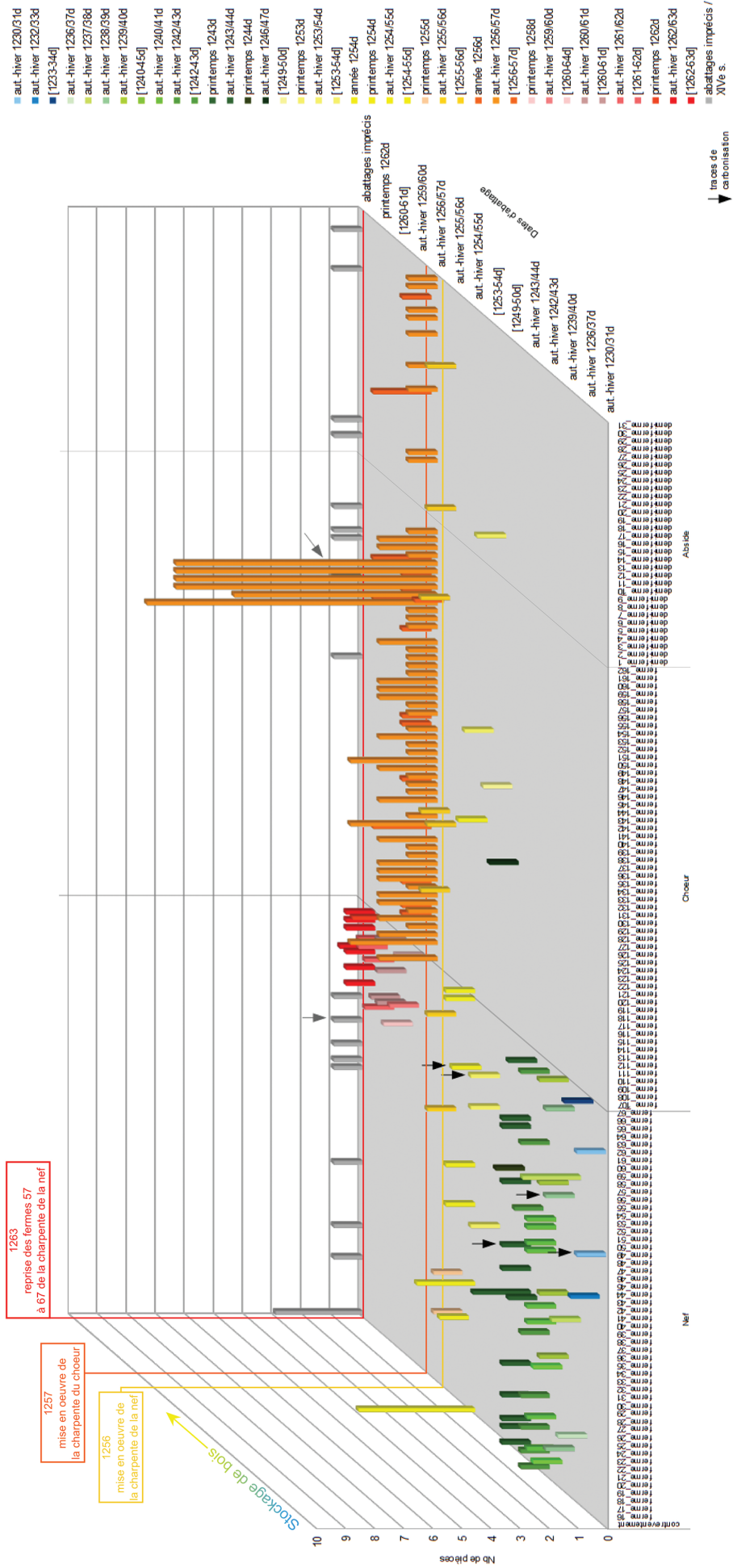


Fig. I-27 Localisation des abattages au sein des charpentes de la nef et du choeur. [Dendrotech 2015.]

- 21 › Ferauge et Mignerey 1996, p. 129-148.
- 22 › Branner 1962, p. 52.
- 23 › Hugoniot 1996, p. 17-29.
- 24 › Ferauge et Mignerey 1996, p. 142.
- 25 › *Quamdiu hore cantantur in choro, non cantatur in circuito chori cum nota ; item cum cantatur majora missa in choro, nullo modo celebratur in circuito nec post majorem missam ...* (Premier cartulaire, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^{os} 56r^o-v^o et 64v^o-65r^o, publié par Martène et Durand 1724, t. VII, col. 1422-1423.)
- 26 › Christe et Brugger 1996, p. 33.
- 27 › Citons l'exemple de la cathédrale de Rouen où tous les bois de la charpente provisoire construite sur la nef en 1201, suite à l'incendie de la cathédrale de 1200, ont été réemployés dans la charpente définitive de 1232 (Épaul 2012, p. 43-49).
- 28 › Pour cette raison, les cas de réemploi de bois romans dans les charpentes gothiques sont rarissimes (Épaul 2007, p. 41-43). Citons l'exemple de la charpente de l'église de Champagne-sur-Oise (Val-d'Oise) de 1234 réemployant quelques bois datés de 1018-1042d (Épaul 2008) et celui de la charpente du chœur de l'église Saint-Pierre de Chartres, daté de 1275, réutilisant quelques éléments de 1168.
- 29 › Ribault 1995 (2), p. 170.
- 30 › Joubert 1994.
- 31 › Ribault 1996, p. 16.
- 32 › Ferauge et Mignerey 1996, p. 129-148. D'après ces auteurs, des encastremets relevés à la naissance des arcs de décharge du triforium haut seraient liés à un chaînage disparu mais il apparaît que ces traces correspondent davantage à l'emprise d'un cintre de chantier en bois pour asseoir les claveaux. Il subsiste d'ailleurs les couchis en bois d'origine, supportés par ces cintres, dans plusieurs travées au nord.
- 33 › Selon M. Ferauge et P. Mignerey, un deuxième chaînage, repéré à l'aide d'un détecteur de métaux, existerait à l'intérieur des murs gouttereaux nord et sud, dans le comble, à 90 cm au-dessous des sablières, mais une récente reprise du gouttereau sud semble contredire son existence. Il serait présent également dans le chœur, à 50 cm au-dessous des sablières.
- 34 › L'Héritier 2016, p. 451.
- 35 › Ferauge et Mignerey 1996, p. 142.
- 36 › Devailly 1973, p. 481-489.
- 37 › Il s'agissait de la mâchoire de saint Étienne, donnée par Eudes de Sully, archevêque de Paris, d'un fragment de côte du protomartyr et de diverses reliques de saint Matthieu, saint Philippe, saint Jacques le Mineur et des saints Côme et Damien.
- 38 › Cartulaire du chapitre Saint-Étienne, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^o 53v^o.
- 39 › Cartulaire de l'archevêché, bulle de Grégoire IX, 1235, n^o 52, p. 212.
- 40 › *Ibid.*, p. 212-213.
- 41 › *Ibid.*, n^{os} 52, 173 et 319, p. 126.
- 42 › Cartulaire du chapitre Saint-Étienne, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^o 81.
- 43 › *Second cartulaire*, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^o R8v^o (publié par Raynal 1844, p. 368-369).
- 44 › Hamon 1999.
- 45 › Un faux-transept est une toiture transversale à la toiture principale, perpendiculaire à celle-ci, terminé par un pignon droit à chaque extrémité, pour marquer la naissance du chœur dans la toiture, l'édifice étant dépourvu de transept.
- 46 › Marguerye 1889-1890, p. 177-228.
- 47 › Charpente dans laquelle chaque couple de chevrons est assemblé à des raidisseurs pour constituer une ferme. La structure présente ainsi une succession de fermes.
- 48 › *Les Très Riches Heures du Duc de Berry*, f^o 52, Adoration des Mages, miniature enluminée attribuée aux frères Limbourg, 1416, Chantilly, Musée Condé.
- 49 › Archives départementales du Cher : 8 G 1068.
- 50 › AD Cher : 8 G 1068.

51 › Marguerye 1889-1890, p. 177-228.

52 › AD Cher : 8 G 402.

53 › *Journal de Mathieu Perrot, chanoine prébendé de la cathédrale de Bourges (1662-1703)*, publié par H. Ponroy, Bourges, 1895, p. 95 ; *Mémoire sur Vierzon et Bourges, par Sébastien Asse, curé de Limeux*, 1750, p. 145, cité par Roger et Gauchery 1916. Clouet et ses successeurs mentionnent que la corniche tombe parce qu'elle est calcinée.

54 › On observe effectivement que les claveaux du grand arc de décharge situé au droit de la 7^e pile présentent des traces de rubéfaction.

55 › AD Cher : B 2417 et 8 G 1068.

56 › AD Cher : 8 G 1068.

57 › AD Cher : *Église Saint-Étienne de Bourges. Plans, devis et marchés faits ès années 1745 et 1747 la dite Église, et aux réparations à faire à la charpente de la couverture d'ycelle.*

58 › « Et pour le retablissement de la charpente il sera fait six fermes avec jambe de force avec entrets et garnis de leur assemblage, comme il est marqué sur le plan. Les jemb de force auront huit pouce de grosseur et les entrets et aiguille et seront garnis de trois rang de filier de chaque quoté qui auront sept pouce de grosseur et les faïste et sous faïste auront six pouce de grosseur et les ferme porteront sur le pied des poutre, au droit de la fracture des deux coté il sera mis des sabelier ou illi en aura besoin ou il sera trove des blochets pour porter le pied des cheveron et les jembette ... » (AD Cher : 8 G 402.)

59 › AD Cher : 8 G 402. Une pierre de la salle située entre la nef et la tour sud, où était logée la poulie du cabestan, porte l'inscription « JACQUE MARSAULT 1746 ».

60 › Un dispositif analogue du XIII^e siècle, encore en place, subsiste sur la nef de l'église Saint-Pierre de Chartres.

61 › « Deuxièmement : lors de l'enlèvement des plombs des noues du comble de la grande nef, on a constaté que tous les pieds des arbalétriers et des chevrons portant fermes étaient pourris. Il a fallu à chaque instant étayer et faire des réparations assez considérables. » (Mémoire du charpentier Gatinet, mai 1852, AD Cher : J 210.)

62 › « Nous avons aussi remanié le comble qui couvre l'espace compris entre la toiture de la nef et la tour sud, en reprenant la disposition première de cette toiture qui devait écouler une partie de ses eaux du côté de la tour sud, dans un caniveau en pierre retrouvé intact à la base des glacis des ouïes du clocher, ce qui a permis d'en dégager la partie inférieure, masquée en dernier lieu par la pénétration du comble en tuiles dans les baies du clocher [...]. » (Médiathèque de l'architecture et du patrimoine, doc. n° 14310, cote 0082/018/1002.)

63 › Ponsot 2007.

64 › ARC98/R1374D/1 : printemps 1256 et automne-hiver 1256-1257.

65 › ARC99/R1374D/2.

66 › Pour la charpente du chœur et de l'abside, seuls deux échantillons ont fourni une date d'abattage en automne-hiver 1255-1256 et en automne-hiver 1256-1257.

67 › Perrault 2010 et 2014.

68 › Dendrotech 2015.

69 › Ghazil 2017.

70 › Archéolabs, réf. ARC92/R11329D.

71 › Une saison d'abattage regroupe les abattages ayant eu lieu lors d'un automne-hiver (de septembre à mars ; présence du bois final dans le cerne n) et ceux du printemps suivant (de mars à mai ; absence de bois final dans le cerne n+1).

72 › BF (bois final) : abattage en automne-hiver ; BI (bois initial) : abattage au printemps.

73 › En pleine sève la souche perd sa vitalité. Pour cette raison, Plinius et Vitruve condamnaient déjà l'abattage en période de sève, comme il le sera par la suite dans de nombreuses ordonnances médiévales et modernes telle celle de Colbert en 1669 (Corvol 1984, p. 86-88).





LE BOIS D'ŒUVRE

LORS DU CHANTIER DE 2010-2014, la mise en place d'échafaudages à tous les niveaux de la charpente, des voûtes jusqu'au faitage, a été l'occasion de mener à bien une étude dendroarchéologique sur l'ensemble des bois d'œuvre du XIII^e siècle. Les mensurations et la morphologie de tous les bois ont été relevées comme la section à chaque extrémité, la présence d'aubier et des nœuds, mais aussi les indices d'équarrissage forcé et les traces d'outils. Outre la datation des bois pour la chronologie des phases du chantier et des campagnes d'abatages, les analyses dendrochronologiques ont été menées aussi afin de définir le profil écologique des arbres exploités (âge, type de croissance, impact anthropique...) pour en déduire les caractéristiques de peuplement des parcelles forestières exploitées (densité des populations, type de futaie...) et de sa gestion par l'homme (cycles d'éclaircies, modalités de régénération, coupes, émondages...).

À travers ces données, nous nous sommes interrogés sur les modalités de prélèvement des arbres, à savoir par furetage ou par coupe rase, et aussi sur les conditions de stockage des grumes. L'objectif est d'apporter ici des éléments de réponse sur les modalités d'approvisionnement en bois d'œuvre d'un très grand chantier de charpenterie ainsi que sur l'état des forêts et la sylviculture pratiquée aux XII^e-XIII^e siècles. Par ce biais, il s'agit ici de définir les rapports existant entre la gestion des ressources forestières d'un peuplement bien défini et l'économie d'un très grand chantier de charpenterie.

LE BOIS D'ŒUVRE

Le stockage

Pour la charpente de la nef, les analyses dendrochronologiques ont mis en évidence 17 saisons d'abattage différentes réparties sur 25 ans (fig. I-26 et I-27). La majeure partie de ces bois (65 % des échantillons)

furent réunis suite à douze campagnes d'abattage réparties entre 1230 et 1244. Les abattages cessèrent pendant une dizaine d'années, puis reprirent en 1253 jusqu'à l'automne-hiver 1255-1256 afin de compléter le stock de bois d'œuvre (35 % des prélèvements) pour la réalisation de la charpente de la nef en 1256. Tous ces bois furent stockés ensemble, en mélangeant les bois des différentes coupes puisqu'ils furent employés dans la charpente de la nef indistinctement de leur date d'abattage, en étant dispersés dans la structure et même au sein des fermes.

Les cas de stockage de bois d'œuvre sont rares en charpenterie pour la période médiévale. Ils se rencontrent essentiellement sur de vastes chantiers. Dans la plupart des exemples, le stockage est lié au surplus d'un chantier précédent qui est utilisé des années plus tard pour une autre partie de l'édifice en complément de bois verts, comme à la cathédrale de Bayeux, où la charpente du bras nord du transept, réalisée avec une grande quantité de bois abattus en 1250, est complétée par quelques bois sciés en 1218 provenant vraisemblablement du surplus d'un chantier antérieur¹. Un cas similaire a été reconnu à la cathédrale de Liège où des bois provenant du surplus du chantier du transept, vers 1251 ont été employés cinquante ans plus tard pour la construction des travées orientales de la nef en 1300². Le cas de Bourges répond à une logique bien différente. Les bois ne proviennent pas d'un surplus d'un chantier précédent mais d'une série d'abattages programmés pour un vaste et unique chantier. Ce cas de figure s'observe aussi à la cathédrale de Tours où la charpente du chœur est exécutée en 1265 avec des bois issus de stocks constitués sur quinze ans. De même pour la charpente du chevet de la cathédrale de Poitiers où les abattages ont été programmés près de vingt ans environ avant le montage des charpentes, avec au moins dix coupes distinctes réparties entre 1196 et 1222³. Ce type d'approvisionnement sur le long terme témoigne des difficultés à financer une unique coupe massive pour la mise en œuvre d'une grande charpente, ce qui représente en effet une quantité considérable de bois à acheter et à abattre en une seule opération. Les responsables du chantier auraient donc anticipé les approvisionnements sur le très long terme, au fur et à mesure des opportunités qui se présentaient, comme des achats ponctuels, des donations ou des prélèvements faits lors de ventes opérées dans la forêt du chapitre.

État des bois stockés : en grume ou équarris ?

Le stockage des bois sur plusieurs décennies soulève la question de leur état de conservation : à l'état de grume ou bien équarris ? Plusieurs indices permettent d'y répondre.

Le premier indice est donné par la calibration des bois de la charpente dont les sections sont parfaitement homogènes au centimètre près par type de pièce (entrants, poinçons, chevrons ...) dans toute la charpente de la nef. Cette standardisation des sections s'explique par la nécessité d'ajuster et d'assembler les pièces entre elles. Or, il est difficile d'envisager que l'équarrissage des bois au centimètre près ait pu être respecté pendant 25 ans après chaque coupe d'abattage. Il semble plus logique d'envisager des abattages d'arbres standardisés dans des futaies homogènes, et que l'équarrissage des grumes ait été réalisé en une seule opération, en respectant des sections précises, lors de la mise en œuvre en 1256.

Le deuxième indice concerne le séchage du bois et les traces qu'il laisse sur les bois. Le séchage intervient aussitôt après l'équarrissage de la grume, et surtout lors de sa mise en place dans le comble où la température monte rapidement et accélère le processus de dessiccation des fibres. Ce phénomène s'observe sur les marques d'assemblage inscrites sur les bois et qui se déforment lorsqu'elles sont recoupées par les fentes de séchage. Or ces déformations s'observent sur les marques de tous les bois de la nef, et notamment sur ceux abattus lors des premières coupes (fig. II-1).



Fig. II-1 > Marque de l'entrait retroussé de F28 (bois abattu entre 1241 et 1243) recoupée par une fente de dessiccation.

Par ailleurs, le marquage des assemblages est cohérent sur l'ensemble de la charpente de la nef, avec une numérotation continue sur toutes les fermes, ce qui suppose qu'il a été fait en une seule opération lors de la mise en œuvre de la charpente. Il apparaît que les bois étaient donc frais au moment de l'inscription des marques et que les grumes furent toutes équarrées lors de l'exécution de la charpente, peu avant l'opération de marquage.

Le troisième indice est lié à l'équarrissage forcé de nombreux bois et au fait que ces derniers ne sont pas déformés avant leur montage. Lorsqu'un bois est équarré à cœur sur une grande longueur pour le désépaissir et rectifier son profil, comme pour les poinçons, les pieds de chevrons et les entrails, le bois « tire à cœur » rapidement et bombe du côté du cœur en se fissurant. Il a surtout tendance à se vriller et se déformer s'il n'est pas tenu aussitôt par ses assemblages. Or ici, les bois fortement sur-équarris ne se sont pas déformés, ce qui suppose que leur mise en place a suivi de près leur équarrissage.

Par conséquent, les bois étaient stockés à l'état de grume dans l'attente du chantier et ont été équarris juste avant leur montage.

Les conditions de stockage sur le long terme

La qualité d'équarrissage et de taille de toutes les pièces des charpentes de la nef et du chœur est assez remarquable. Par les cupules laissées par les doloires et les haches, le maintien des assemblages au séchage, la déformation des marques d'assemblage ou des bois, rien ne distingue les bois stockés pendant 25 ans de ceux abattus peu avant la mise en œuvre. De même, les bois ont tous une bonne tenue mécanique et les aubiers des bois abattus précocement sont aussi bien conservés que ceux des bois verts. Tout indique donc que les bois ont été conservés dans des conditions de stockage spécifiques qui leur ont permis de conserver leur humidité interne puisque le séchage s'est opéré après leur mise en œuvre.

Il est difficile d'envisager un stockage des grumes par immersion dans une réserve d'eau ou un étang. Si les bois immergés peuvent en effet traverser des siècles tout en étant prémunis des champignons et des insectes xylophages, une fois sortis, les bois gorgés d'eau présentent

d'importants risques de dégradation par des champignons lignivores, ce qui explique pourquoi cette pratique n'est pas attestée au Moyen Âge en charpenterie. Par ailleurs, cette hypothèse suppose un transport supplémentaire jusqu'au lieu d'immersion et des travaux conséquents de manutention pour les immerger et les récupérer, sachant que cela concerne plusieurs centaines de grumes. Cette proposition n'est donc pas recevable. De plus, un bois stocké dans l'eau pendant plusieurs années présente une coloration foncée de sa superficie et une décomposition des aubiers, ce qui n'est observé sur aucun des bois de la charpente.

L'hypothèse la plus probable est un stockage en contexte forestier dans une zone froide, humide, à l'abri des éclaircies et des vents. En effet, en dessous d'une certaine température, ces conditions permettent d'empêcher les attaques fongiques, de limiter le développement des insectes xylophages et aussi de maintenir le taux d'humidité du bois à son niveau le plus élevé. Les analyses des bois réalisées par le laboratoire EFC Lab n'ont en effet révélé aucune trace d'attaque fongique sur l'ensemble des échantillons des bois de la nef, du chœur et du beffroi. Par ailleurs, une basse température et un taux d'humidité élevé permettent aussi de limiter le risque de fermentation de la cellulose et l'échauffement du bois qui entraîne une perte d'élasticité, une réduction de poids et surtout une décomposition de l'aubier. Peut-être que les grumes ont été écorcées en partie pour limiter cette fermentation, assurant ainsi une préservation sur le long terme des qualités mécaniques et, indirectement, la conservation de l'aubier⁴.

Ainsi, il est fort probable que l'ensemble des bois abattus durant 25 ans ont été stockés au sein même de la forêt, au fond d'une vallée humide et froide, dans un sous-bois ombragé et peu ventilé, avec un mode de conditionnement par empilement des grumes, peut-être dans un enclos⁵ pour la protection des vols.

Un traitement curatif des bois: le fumage

Les bois brûlés

Sur une dizaine de bois dispersés dans la charpente de la nef⁶, abattus pour certains en 1230, 1238, 1243, 1253, 1254, 1256, et sur deux bois du chœur⁷, on relève des traces de carbonisation (fig. II-2 et II-3). Ces stigmates sont parfois importants avec une calcination en profondeur du cœur du chêne, ce qui suppose un feu de forte intensité. Pourtant ces bois sont disséminés dans l'ensemble de la charpente de la nef, tous isolés les uns des autres. Aucun bois à proximité ne porte de trace d'incendie ni même les maçonneries, confirmant un sinistre antérieur à la pose de la charpente. Par ailleurs, on observe que sur la plupart de ces pièces, la carbonisation des fibres est recoupée par l'équarrissage et ne subsiste qu'aux arêtes. Ces calcinations résultent donc d'un fait qui s'est produit avant l'équarrissage des grumes. Il est peu probable qu'il s'agisse d'un feu de forêt car ces traces sont ponctuelles et localisées aléatoirement en tête comme en pied des fûts. Il est plus vraisemblable que ces pièces brûlées proviennent d'un lot de grumes constitué des différentes coupes et qui aurait subi l'action d'un feu partiel, avant leur mise en œuvre.



Fig. II-2 > Chevron nord de F52 (vers 1238),
trace d'incendie sur l'arête, recoupée par l'équarrissage.



Fig. II-3 > Traces de carbonisation
de l'écharpe nord de F49 (1230 BF).

Fig. II-4 > Sous-face de l'entrait de F147
montrant une surface équarrie brûlée
avec un arrêt transversal
de la carbonisation à droite.



Ce lot de bois incendiés concerne majoritairement les bois de la nef. Dans le chœur, seuls deux bois – les entrails de F147 et F152, abattus en 1255 et 1256 – présentent des traces similaires en leur extrémité sud. Ces deux pièces sont les seules de forte section du lot et leur calcination couvre davantage de surface : pour E147 (fig. II-4), elles apparaissent sur trois faces, sur 2 m de long et 6 cm de profondeur par endroits avec, en face inférieure, deux arrêts bien nets de la carbonisation, notamment au nord (à droite sur la photo). Cet arrêt bien marqué suppose qu'un obstacle a empêché la progression du feu sur le bois et témoigne vraisemblablement de l'empilement d'autres bois équarris sur celui-ci. Sur E152, les traces s'étalent sur 4 m de long sur les quatre faces et jusqu'à 10 cm de profondeur en plusieurs endroits. Contrairement aux bois brûlés de la nef qui ont subi l'action du feu alors que ceux-ci étaient encore à l'état de grume, ces deux entrails ont été brûlés après leur équarrissage, c'est-à-dire dans leur état actuel. En effet, leurs faces déjà aplanies par la doloire sont entièrement calcinées. Cette différence notable peut donc signifier que les deux entrails du chœur ne provenaient pas du même lot que celui de la nef.

Concernant la nef, ces traces d'incendie confirment bien l'existence d'un lot qui a réuni toutes les grumes issues des multiples campagnes d'abattage, sur une aire commune de stockage. Cet incendie s'est produit après les derniers abattages des bois concernés et juste avant la mise en œuvre de la charpente de la nef en 1256.

Les traces de fumées

En complément de ces observations, les analyses microscopiques réalisées sur 180 échantillons prélevés sur les bois du XIII^e siècle de la nef, du chœur et du beffroi ont livré des résultats assez surprenants qui expliquent les traces de carbonisation évoquées ci-dessus⁸. En effet, la quasi-totalité des échantillons, excepté huit, soit 96 % des bois prélevés, ont un aubier qui a été fortement imprégné par des fumées, jusqu'à la limite du duramen. Des insectes, des larves et des vermoules observés dans ces aubiers ont même pour certains été brûlés. Les bois ont donc été soumis à un fumage à haute température qui a provoqué des dépôts de fumées en quantité jusqu'à saturation des fibres, au point de voir une calcination des vermoules, de larves et d'insectes sur certains échantillons.

Sur la plupart des bois prélevés pourtant, aucune trace de carbonisation des fibres ligneuses n'est visible, excepté les quelques bois mentionnés ci-dessus pour lesquels le feu a largement consommé le bois. Si donc pour la plupart des bois les tissus anatomiques ont été préservés par l'action du feu, la concentration des fumées autour d'eux était telle qu'elles ont pénétré profondément les fibres jusqu'à la limite du duramen. Cet arrêt net des fumées à cette transition aubier-duramen témoigne que le cœur du bois était trop humide pour que les fumées y pénètrent, ce qui confirme les conditions de stockage évoquées ci-dessus dans un milieu frais et humide.

Cette calcination de vermoules et des insectes ainsi que la présence de fumées dans tous les aubiers confirmeraient donc un fumage maîtrisé durant un temps déterminé de la quasi-totalité des bois du XIII^e siècle des charpentes de la nef, du chœur et du beffroi.

Des bois attaqués

Les analyses microscopiques et macroscopiques des 180 échantillons ont porté aussi sur le diagnostic sanitaire de bois à travers l'observation des dégâts occasionnés par les champignons lignivores et les insectes xylophages à la structure anatomique⁹.

Aucune trace d'infection par des champignons lignivores n'a été détectée sur les échantillons, ce qui conduirait à confirmer l'hypothèse du stockage des grumes dans un endroit frais et humide, où régnerait une basse température permanente pour empêcher le développement des champignons.

Toutefois, il est apparu que 95 % des bois analysés avaient des aubiers dégradés par des attaques d'insectes. De plus, les très rares bois à avoir été épargnés par ces attaques de xylophages, dans la nef et le chœur, ne présentaient justement pas de trace de fumage¹⁰, à deux exceptions près. Dans le beffroi, tous les bois ont été attaqués et ont subi le fumage. Statistiquement, ces données semblent indiquer que les bois non atteints par ces attaques d'insectes ont été délibérément mis de côté pour ne pas être fumés.

Ces attaques se caractérisent par des galeries en surface parallèles au fil du bois, riches en vermoulures au niveau de l'aubier et de la transition aubier-duramen, par des traces de larves sur le duramen, par des coulées de vermoulure, brûlées pour certaines, et par la présence d'insectes et de larves également brûlées. L'examen des galeries et des spécimens d'insectes et de larves conservés a montré que le principal responsable de ces attaques était le *Xestobium rufovillosum de Geer*, appelé communément la Grosse Vrillante. Un deuxième type d'insecte xylophage, moins présent et propre aux bois fraîchement abattus, a été relevé sur les aubiers des échantillons, mais son identité n'a pas pu être définie.

Ce type d'insecte n'attaque les bois généralement que s'ils sont déjà infestés par des champignons (pourriture cubique et fibreuse) qui, en dégradant le bois, produisent de l'azote dont se nourrit l'insecte. Or, d'après les analyses, aucun bois n'a été contaminé par ces champignons. Par ailleurs, pour que la Grosse Vrillante puisse se développer, il faut une température de 20 à 25° C et que le bois ait un taux d'humidité minimale de 22 %, ce qui suppose que les bois n'étaient déjà plus stockés en forêt au frais au moment de leur contamination. Les bois auraient donc quasiment tous subi cette attaque par la Grosse Vrillante au moment où les bois venaient d'être acheminés au chantier.

Une autre donnée semble confirmer cette hypothèse. D'après les analyses microscopiques, l'aspect des vermoulures, l'arrêt net du développement des insectes à la zone aubier, la faible densité des trous d'envol, on considère que le cycle biologique de l'insecte était court, de un à trois ans. De plus, les attaques de la Grosse Vrillante sont localisées uniquement au niveau de l'aubier jusqu'à parfois la limite aubier-duramen. Le cœur du bois n'a donc jamais été contaminé alors que ce type d'insecte le consomme habituellement. L'attaque des bois a donc été stoppée nette en début de cycle biologique de l'insecte, avant même qu'il n'ait pu atteindre la phase adulte. L'infection des lots de bois a donc été importante et rapide puisqu'ils ont quasiment été attaqués ensemble et sur les toutes dernières années de leur stockage, pour chacun des lots concernés, c'est-à-dire ceux de la nef, du chœur, de la reprise de la nef et du beffroi.

Ainsi, il y a tout lieu de penser que l'attaque de la Grosse Vrillante s'est déclenchée sur chaque lot de bois peu après leur acheminement au chantier, suite au changement brutal des conditions hygrométriques et le début de séchage. Devant cette attaque massive et généralisée à presque tous les bois, le fumage aurait donc été utilisé comme procédé curatif afin d'arrêter la prolifération de l'insecte, ce qui a été fait avec une réelle efficacité en dépit de plusieurs bois brûlés.

Interprétations

À l'examen de ces analyses et des datations des différents abattages des bois, l'hypothèse la plus probable est que le fumage a été pratiqué distinctement sur les bois de la nef, sur ceux du chœur, ceux de la reprise de la nef et enfin sur ceux du beffroi, juste avant la mise en œuvre de ces charpentes. Pour la nef, le fumage a été fait sur les bois des différentes coupes d'abattage, des premières en 1232 aux dernières en 1255. Pour le chœur, les bois de la principale campagne de 1256 ont tous été fumés, de même que ceux de la reprise de la nef abattus en 1259-1262 et encore tous ceux du beffroi qui comprend aussi des réemplois de 1260 et des bois verts de 1270. Il apparaît

donc que ce traitement est intervenu après que les stocks ont été constitués et complétés des derniers abattages, lorsqu'ils furent livrés au chantier.

Il eut été possible d'envisager, en raison de la proximité des dates d'abattage des derniers bois de la nef (automne-hiver 1255-1256) et du chœur (automne-hiver 1256-1257), que le fumage ait pu être fait sur la totalité des bois du grand vaisseau et que ces derniers, après fumage, aient été répartis entre la nef et le chœur, ce qui suppose un mélange des bois comme il y en a eu dans la nef entre les bois des différentes coupes. Or, on s'aperçoit qu'aucun bois abattu en automne-hiver 1256-1257 ne se retrouve dans la nef, ce qui semble signifier que les bois du chœur et de la nef furent bien livrés au chantier distinctement et qu'il y a plus de présomptions pour que le fumage fût réalisé séparément entre ces deux lots. Cette proposition semble par ailleurs validée par le fait que le chantier du chœur est bien distinct de celui de la nef, avec des différences notables dans les sections de bois, les structures des fermes comme dans le marquage. Enfin, il apparaît que le fumage a été pratiqué de façon systématique avant chaque mise en œuvre d'une structure, que ce soit pour la nef, le chœur, la reprise de la nef ou encore le beffroi quinze ans plus tard.

Procédés

Les bois brûlés de la nef et du chœur prouvent que la technique du fumage n'était pas si bien maîtrisée que cela et que le feu pouvait provoquer des dégâts irréversibles. La calcination de ces bois montre que le feu des fagots devait être en contact avec eux et qu'il devait être suffisamment important pour qu'il ne puisse être maîtrisé à temps. D'après nos estimations, les bois de la nef représentent 500 et 600 grumes contre 400 environ pour le chœur et ils auraient presque tous été fumés d'après les analyses. Dans la nef, les bois ont été brûlés à l'état de grumes alors que dans le chœur, ils ont d'abord été équarris en partie avant d'avoir été fumés et brûlés. L'entrait de F147 montre par ailleurs un arrêt net et orthogonal à l'axe de la poutre de l'action du feu (fig. II-4), ce qui indiquerait que les pièces équarrées étaient empilées perpendiculairement les unes sur les autres.

Il faut donc imaginer une logistique et une manutention très élaborées, avec des engins de levage type chèvre pour déplacer les poutres et les mettre en piles sachant qu'il s'agit de plusieurs centaines de pièces de bois, atteignant pour la plupart 14 m de long. Avec ces données, il faut reconnaître qu'il est bien difficile d'imaginer un tel chantier ainsi que le procédé de fonctionnement vu l'absence de donnée sur ce type de pratique. Ces piles de bois devaient être vraisemblablement recouvertes, afin de favoriser la concentration des fumées, et mises dans un lieu fermé, dans un grand séchoir ou dans des fosses, avec d'importantes quantités de fagots pour le fumage.

Une telle logistique, avec des engins de levage, ne pouvait être mise en œuvre en forêt, mais bien à proximité du chantier. En effet, nous pensons que l'équarrissage des bois a été réalisé sur le chantier de la cathédrale et non en forêt (lire la sous-partie « L'équarrissage » du chapitre II). Or ceux du chœur ont été fumés après équarrissage, ce qui confirmerait un fumage des bois à proximité du chantier.

Il est à noter que pour les bois du beffroi du XIII^e siècle, mis en œuvre en 1270 ou peu après, la concentration des fumées dans les aubiers est nettement plus importante que pour les bois de la nef et du chœur. Pour autant, aucun bois du beffroi ne montre des traces de carbonisation des tissus fibreux. Il apparaît donc que la technique du fumage des bois du beffroi a été optimisée par rapport à celle pratiquée précédemment. Par ailleurs, les analyses faites sur les gros bois rajoutés au beffroi aux XIV^e et XV^e siècles¹¹ pour des réparations ont eux aussi des aubiers imprégnés de fumées. Cela témoigne donc de la permanence de la technique du fumage pour les bois utilisés dans toutes les charpentes de la cathédrale au Moyen Âge. Pour autant, aucun texte médiéval ne mentionne cette pratique, ni même ceux de la période moderne.

Les indices du transport du bois

Sur de nombreux bois de la charpente du chœur, et beaucoup moins sur ceux de la nef, on relève des chevillages qui peuvent être liés à leur transport. En effet, dans le chœur, de nombreux chevrons, aisseliers, entrails retroussés, écharpes, entrails et poinçons présentent un gros chevillage de 3 cm de diamètre, non traversant, situé en partie médiane de la pièce (fig. II-5). Ces grosses chevilles sont systématiquement localisées sur une arête ou à proximité, quelle que soit son orientation (inférieure, supérieure, est ou ouest), et toujours dirigées vers le centre du bois sur une faible profondeur (3 à 5 cm). Ces chevillages ne sont pas alignés de ferme en ferme et le caractère aléatoire de leur emplacement prouve qu'ils ne servaient pas au contreventement provisoire des fermes ni à leur levage. Quand la cheville est conservée, la tête est systématiquement coupée au raz de la face du bois à la hache. Leur faible profondeur dans le bois suppose que la cheville était plus longue à l'origine.

Il est donc probable que ces chevillages soient antérieurs à l'équarrissage et qu'ils aient servi à l'accroche de cordages de fixation pour le débardage des grumes et leur charroi. Lors de l'équarrissage, la tête des chevilles aurait été rabattue.

Il est peu vraisemblable qu'il puisse s'agir d'un chevillage destiné au flottage des grumes car le seul système de fixation connu aux XIII^e-XVI^e siècles en région Centre comme en Bourgogne pour ligaturer des grumes en trains de radeaux apparaît sous la forme d'un chevillage oblique sur l'arête et ne correspond pas à celui-ci¹². S'il s'agit d'un type de fixation original et inédit pour le flottage des bois, il devait alors servir non pas pour des trains de radeaux mais plutôt pour ligaturer seulement deux ou trois grumes en raison du faible tirant d'eau des rivières passant à Bourges, notamment l'Yèvre et l'Auron. Par ailleurs, comme cela sera évoqué plus loin, les bois destinés aux chantiers de la cathédrale de Bourges proviendraient d'une forêt éloignée des cours d'eau et ces chevillages seraient donc liés plutôt au charroi des grumes.



Fig. II-5 > Chevillage dans l'arête d'un entrail retroussé.

Profil dendrométrique des pièces de charpente

Pour le suivi de cette analyse, rappelons rapidement la chronologie des chantiers de mise en œuvre des charpentes (fig. I-3) qui seront détaillées structurellement plus loin :

- La charpente de la nef est mise en œuvre en 1256 avec des bois abattus entre 1230 et 1256.
- La charpente du chœur est mise en place juste après celle de la nef, en 1257 ou peu après, avec des bois issus d'une seule coupe en automne-hiver 1256-1257.
- La partie centrale de la charpente est remaniée en 1263 ou peu après (n'en subsiste que les deux dernières travées orientales de la nef F57-F67), après l'achèvement des grandes toitures, avec des bois abattus entre 1259 et 1263, et des réemplois.
- Reprise de cette partie centrale en 1747, puis des extrémités de la charpente en 1882.

Nous renvoyons le lecteur aux figures des fermes (fig. III-5) pour la terminologie des pièces de charpente.

Si au premier regard la charpente du chœur et celle de la nef apparaissent identiques, les mesures précises de tous les bois révèlent en fait des différences bien nettes entre les éléments du chœur et ceux de la nef. En effet, les chevrons, les entrails, les poinçons et les pièces secondaires de la charpente du chœur sont de plus forte section que ceux de la nef (fig. II-6 et II-7). Ces différences de section coïncident donc avec les deux phases principales du chantier, à savoir la nef et le chœur, et donc en partie aux campagnes d'abattage, notamment entre celles de la nef et celle du chœur.

Il convient donc ici de connaître les mesures des bois par type de pièce en s'attardant notamment sur leur morphologie, l'âge des grumes exploitées, les modalités de leur débitage afin de restituer la forme originale des chênes abattus.

Les chevrons

Les chevrons sont les pièces de la charpente les plus complètes, celles dont les bois se rapprochent le plus des grumes exploitées (fig. II-8), contrairement aux poinçons et aux entrails qui ont été sur-équarris sur un tiers de leur longueur, au moins, et qui pouvaient se prolonger au-delà de leurs extrémités. L'extrémité supérieure des chevrons correspond au sommet du fût exploitable comme l'attestent leur faible section, les aubiers aux arêtes, les nombreux nœuds et les greffes effectuées sur plusieurs d'entre eux afin de les prolonger, faute de matière suffisante (fig. II-9). Les chevrons du chœur ont une section en pied de 18×17 cm, soit un diamètre estimé de 27 cm, contre $16,5 \times 15$ cm pour ceux de la nef, soit un diamètre restitué de 23 cm. Concernant leur tête, sur la nef comme sur le chœur, la partie sommitale est de $11 \times 11,5$ cm, soit un diamètre de la grume de 16 cm. Contrairement à ces têtes, l'estimation du diamètre du pied est majorée en raison du sur-équarrissage du pied et de la présence d'aubier sur une seule arête en moyenne à 2,20 m de la base.

Ces mensurations permettent de calculer le défilement (ou décroissance métrique moyenne) qui exprime le nombre de centimètres que le fût perd sur sa circonférence par mètre de hauteur entre la tête et le pied, et qui définit ainsi sa forme plus ou moins tronconique. Cet indice

	Pièces	Section (cm)		Diamètre restitué (cm)			Longueur (m)	Défilement (cm/m)	Âge moyen en années [écart type]
		Pied	Tête	Pied	Tête				
Fermes	Chevron	16,5 × 15	11 × 12	23	16		13,7	1,6	87 (1236-1244) 59 (1253-1255)
	Écharpe	14 × 13	12 × 11	22	16		8,5		72 [14]
	Entrait retroussé	16 × 14,5		22			7,3		58 (1236-1243)
	Faux-entrait	13 × 12		16			2,4		
	Jambe de force	14 × 15		22			1,8		48 et 108
	Blochets	15 × 15		22			1		
	Aisselier	12 × 13		19			3,9		
	Contrefiche	14 × 13,5		19			2,2		33 et 101
	Entrait	18 × 20	23 × 23	19 × 21	38*	33	28	14,7	2,1
Poinçon	15,5 × 15	16 × 16	15 × 14	25*	23	22	11,6	0,7	76
Pièces longitudinales	Liernes inf.	16 × 14		22			3,3		
	Liernes sup.	12 × 13		19			3,1		
	Écharpes	12 × 14	12 × 10	19	16		6,5 et 5,9		
	Contreventement des chevrons	14 × 9		22			12		
	Sablères	(17 × 15)		(23)			(12)		

	Pièces	Section (cm)		Diamètre (cm) restitué			Longueur (m)	Défilement (cm/m)	Âge moyen en années [écart type]
		Pied	Tête	Pied	Tête				
Fermes	Chevron	18 × 17	11 × 11,5	27	16		13,7	2,5	56 [9]
	Écharpe	14 × 14	13 × 12,5	21	19		4		47 [5]
	Aisselier	17 × 15		22			4		50 [10]
	Entrait retroussé	20,5 × 15		28			7,3		54 [8]
	Jambe de force	15,5 × 16,5		23			1,8		48 [8]
	Blochets	15 × 15 (?)		22 (?)			1		
	Faux-entrait	12 × 10,5		16			2,3		45 [8]
	Contrefiche	13,5 × 11,5		18			2,5		37 [8]
	Entrait	21 × 22	26 × 25,6	20 × 21	43*	37	31	15	2,5
Poinçon	15 × 14,5	18 × 18	15 × 14	32*	27	22	11,6	2,6	74 [7]
Pièces longitudinales	Liernes inf.	16 × 14		23			3,3		
	Liernes sup.	12 × 13		19			3,1		
	Écharpes	12 × 14	12 × 10	20	16		6,5 et 5,9		
	Contreventement des chevrons	14 × 9		18			12		
	Sablères	(17 × 15)		(23)			(12)		

Fig. II-6 > Tableau des mesures des bois de la nef.

Fig. II-7 > Tableau des mesures des bois du chœur.

Face d'établissement (est/ouest) × face interne (nord/sud).

*: valeur estimée d'après le défilement et non d'après la section de la pièce sur-équarrie.

(17 × 15) : mesures restituées de bois disparus.



Fig. II-8 > Chevrons du chœur, avant restauration.



Fig. II-9 > Tête du chevron de F56, greffé en about par un enfourchement chevillé à talons et rives droits.

renseigne sur la densité du peuplement forestier (futaie dense, éclaircie, lâche, taillis-sous-futaie...), d'après des tables officielles établies pour le chêne¹³. Pour les chevrons de la nef, le défilement est de 1,6 cm/m, ce qui signifie que le fût est extrêmement effilé, presque rectiligne.

Les carottages sur les chevrons ont été faits en pied de pièce, au-dessus de la jambe de force, là où le bois n'a pas été sur-équarri. L'estimation de l'âge est donc la plus fiable statistiquement par rapport aux autres pièces puisqu'en raison de sa grande longueur (13,70 m), le pied du chevron est proche de la souche de l'arbre. Le nombre de cernes des chevrons correspond donc au plus près de l'âge de l'arbre abattu, contrairement aux autres pièces plus courtes qui peuvent provenir d'une partie médiane ou sommitale d'un fût. Ainsi, d'après les 91 prélèvements dendrochronologiques effectués au pied des chevrons, dont 85 exploitables, on discerne nettement plusieurs classes d'âge selon les campagnes d'abattage, et donc selon les phases de chantier.

Les bois les plus âgés appartiennent aux premières campagnes d'abattage des bois de la nef situées entre 1236 et 1244. Leur âge moyen est de 87 ans ; cependant on distingue deux lots, le premier d'une moyenne de 78 ans et le second de 99 ans, et un bois isolé de 44 ans.

Pour les chevrons abattus en 1253-1255, toujours destinés à la nef, l'âge moyen est de 59 ans mais l'échantillonnage est insuffisant pour être fiable (quatre carottages), même s'il dénote

<i>Campagne d'abattage</i>	<i>Localisation</i>	<i>Phase de mise en œuvre</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Âge moyen des bois</i>
1236-1244	Nef	1256	9	87
1253-1255	Nef	1256	4	59
1256	Chœur	1257	68	56
1259-1262	Faux-transept	1263	4	50

Tableau > Âges moyens des chevrons.

toutefois une différence d'âge manifeste et vraisemblablement un approvisionnement dans un peuplement plus jeune. Malgré cette différence d'âge entre ces deux approvisionnements pour la nef, les bois conservent le même faible diamètre en pied de 23 cm, ce qui traduit, pour ce lot, un milieu encore plus dense et concurrentiel que le précédent.

Pour les 68 chevrons du chœur qui ont été datés précisément, tous abattus en automne-hiver 1256-1257, les arbres utilisés ont un âge moyen de 56 ans, avec un écart type important de 9 ans en raison d'une forte variabilité des âges qui s'étalent entre 30 et 79 ans, mais avec toutefois une grande majorité répartie entre 47 et 65 ans. Ces bois de 56 ans en moyenne pourraient logiquement se rapprocher de ceux coupés en 1253-1255, d'un âge moyen assez proche de 59 ans, mais leur plus fort diamètre en pied de 27 cm, comparé à ceux de la nef de 23 cm, semble indiquer un approvisionnement dans un autre peuplement forestier, plus jeune et de densité moins forte. En effet, le défilement calculé de ces fûts, de 2,5 cm/m, témoigne d'un élancement très prononcé du fût et d'une croissance contrainte par une forte densité du peuplement mais moindre que celle des chevrons de la nef.

Enfin, les bois abattus en 1259-1261 pour la reprise de 1263 présentent une moyenne d'âge de cinquante ans, même si là encore le faible échantillonnage oblige à rester prudent. Leur forte section en pied, de $18,5 \times 15,5 \text{ cm}^2$, identique à celle des bois du chœur, la proximité des dates d'abattage avec ces derniers et un âge moyen relativement proche inciteraient à penser qu'il s'agit du même lieu d'approvisionnement.

Ainsi, les bois abattus pour le chevronnage de la nef, de 23 cm de diamètre à la base, se distinguent de ceux du chœur de plus fort diamètre (27 cm), pour une longueur minimale de 14 m et un diamètre en tête de 16 cm. Ils se départagent aussi d'après leur âge en deux lots homogènes, le premier concernant ceux abattus successivement de 1236 à 1244, avec des âges répartis de 80 à 100 ans, et le second pour ceux abattus juste avant leur mise œuvre, de 1253 à 1261, plus jeunes, avec un âge moyen de 50-60 ans. On assiste donc à une nette évolution dans les approvisionnements qui privilégient assez rapidement des arbres plus jeunes au détriment des chênes âgés. Il est probable qu'une grande partie de ces bois provient des mêmes peuplements qui étaient à l'origine âgés et densément peuplés et qui ont été éclaircis progressivement suite aux abattages successifs. Cette baisse de la densité aurait ainsi favorisé la croissance en diamètre des derniers sujets, abattus massivement entre 1253 et 1261.

Notons que le chevron sud de F127, abattu en 1256 pour la charpente du chœur et déposé lors des récentes restaurations, a permis de préciser le calcul de la croissance tronconique des bois par un prélèvement à la tronçonneuse de huit tranches à intervalles réguliers sur toute sa

Tranche	Distance/base	Section (cm)	Diamètre du fût	Moelle	Cernes	Aubier	Cambium	Chronologie	Âge estimé	Position moelle
1	0,60 m			Oui	54	6	Non	1191-1244	66	1
2	2,75 m	19/17	27 cm	Oui	59	15	Non	1197-1255	60	7
3	4,40 m			Oui	49	11	Non	1202-1250	55	12
4	6,30 m			Oui	47	12	Non	1208-1254	49	18
5	8,90 m	14/15	21 cm	Oui	43	15	Oui	1214-1256	43	24
6	10,30 m			Oui	39	13	Oui	1218-1256	39	28
7	11,50 m			Oui	37	14	Oui	1220-1256	37	30
8	12,20 m	11/12	16 cm	Oui	32	11	Non	1223-1254	34	33

Fig. II-10 > Tableau des données dendrologiques par tranche du chevron sud de F127.

longueur. Le tableau récapitulatif (fig. II-10) montre la réduction progressive du nombre de cernes en montant vers la tête du fût, approximativement de trois années par mètre. Le fût présente 66 cernes en pied de fût alors qu'en tête il n'en possède que 34 pour un diamètre estimé de 16 cm. Cela signifie que l'âge estimé des pièces courtes et de plus faible section, taillées dans la moitié supérieure d'un fût de ce type, aurait une différence de plus de vingt ans avec l'âge réel de l'arbre. Les calculs dendrologiques faits sur les bois d'une charpente ne peuvent donc être fiables s'ils ne prennent en compte que les prélèvements effectués en pied de fût, avec moelle et cambium, comme la base des chevrons.

Les entrails

Long de 15 m, les entrails présentent tous une section plus forte à mi-portée qu'aux extrémités. Cela tient de la forme tronconique de la grume, avant équarrissage. Afin d'avoir une poutre équilibrée et symétrique, les charpentiers forcent l'équarrissage sur sa moitié inférieure, ce qui permet également d'alléger l'entrait du surplus de fibres inutiles.

Les entrails du chœur ont une plus forte section que ceux de la nef, avec en moyenne une section médiane de 26 × 25,5 cm contre 23 × 23 cm dans la nef, et aux extrémités de 20 × 21 cm contre 19 × 20 cm dans la nef. Ceux abattus pour la reprise de 1263 conservent les fortes sections de la campagne précédente du chœur.

La tête de l'arbre se reconnaît à la présence d'aubier aux arêtes, épargné par l'équarrissage, et de nœuds de départ de grosses branches. Elle se reconnaît aussi lors des analyses dendrochronologiques à la plus faible quantité de cernes par rapport au pied, pour des sections similaires. En effet, dans le chœur, l'extrémité sud de l'entrait de F122 (échantillon n° 220), avec 41 cernes, correspond à la tête de la grume contrairement aux extrémités nord des entrails de F152 (n° 355), F162 (n° 433) et F117 (n° 219), avec respectivement 145, 114 et 107 cernes, qui indiquent le pied de l'arbre. Le pied de la grume se reconnaît aussi par la rareté de l'aubier aux arêtes, avec parfois un tirage à cœur lié à l'équarrissage forcé. Le diamètre de la base du fût peut donc difficilement être déduit de la section de cette extrémité. Il peut toutefois se calculer à partir de la moitié supérieure du fût qui a été équarri au plus proche de sa forme naturelle si les aubiers sont conservés

sur cette longueur. La circonférence peut alors être estimée à partir des sections médianes et supérieures en calculant la décroissance métrique moyenne (ou défilement). Ce décroissement est régulier, c'est-à-dire que la réduction du diamètre du fût est homogène sur toute sa longueur.

Pour les parties supérieures des entrails mesurés dans le chœur, le défilement est de 2,5 cm/m. Rapporté à leur longueur totale, on obtient un diamètre de 43 cm à la base du fût (135 cm de circonférence). D'après les tables officielles de référencement, cette valeur de défilement pour des fûts de cette circonférence correspond à des bois élancés ayant évolué dans un peuplement très serré¹⁵, identique à celui des chevrons du chœur. Pour les entrails de la nef, le défilement calculé est de 2,1 cm/m, ce qui fait un diamètre restitué de 38 cm en pied (119 cm de circonférence). Là aussi, la valeur du défilement correspond à des bois très élancés liés à un milieu plus fortement concurrentiel.

Dans le chœur, treize prélèvements ont été réalisés sur les entrails, à chaque fois en présence d'aubier, au milieu et aux extrémités nord et sud des pièces. Les 4 carottages effectués à l'extrémité correspondant au pied du fût ont permis de définir un âge moyen de 120 ans. Le suréquarrissage de ces bois en pied, donc la rareté des aubiers aux arêtes, explique la faible quantité de cet échantillonnage, toujours réalisé en présence d'aubier. Les 3 carottages effectués en partie médiane des entrails, où les aubiers sont davantage présents, fournissent des âges proches : 102, 106 et 124 ans. Quant aux échantillons issus de la tête des fûts, les carottes présentent logiquement moins de cernes : 43, 73, 81 et 82.

En rapportant aux entrails la même réduction progressive de 3 cernes par mètre linéaire du pied à la tête, calculée ci-dessus sur le chevron de F127, puisque le défilement est quasiment identique entre les entrails et les chevrons, on peut déduire avec une certaine prudence, par rapport aux emplacements des carottages, une moyenne d'âge de 125 ans estimée au pied des billes pour tous ces échantillons.

Pour les entrails de la nef, en majorant les échantillons n'ayant pas leur aubier complet, on obtient une moyenne d'âge de 90 ans. Ceux appartenant à la reprise de 1263 (F62 et F67), qui ont respectivement 104 et 50 ans (ce dernier correspondant à une tête de fût), se rattachent aux bois du chœur.

Les arbres destinés aux entrails du chœur, correspondant à des fûts de 15 m de long minimum, de 43 cm de diamètre à la base et âgés de 125 ans en moyenne, pourraient donc correspondre à ceux exploités pour les entrails de la nef à un stade plus avancé de leur développement puisque ces derniers sont taillés dans des arbres moins âgés (90 ans) et d'un diamètre inférieur (38 cm). D'après leur défilement, ces bois proviendraient d'une futaie densément peuplée, quelle que soit leur date d'abattage.

Les poinçons

Les bois sélectionnés pour les poinçons, longs de 11,60 m, sont particulièrement droits du fait de leur fonction de colonne vertébrale au sein de la ferme pour la reprise des charges de nombreuses



Fig. II-11 > Poinçon de la ferme 112, face nord.

pièces (fig. II-11). Là encore, on constate que les bois utilisés pour les poinçons de la nef se distinguent de ceux du chœur. Dans la nef, les poinçons sont fins avec une section de $15,5 \times 15$ cm en pied, de 16×16 cm à mi-hauteur et de 15×14 cm en tête. Dans le cœur, les bois sont de plus fort diamètre, avec une section à mi-hauteur de 18×18 cm, alors qu'en pied et en tête leur section reste la même. Cette différence de section à mi-hauteur favorise l'assemblage du faux-entrait qui est constitué de deux pièces dans le chœur, alors que dans la nef, il est taillé dans un unique bois.

Les poinçons de la partie remaniée en 1263 sont quant à eux identiques à ceux du chœur, avec donc des bois de plus fort diamètre que ceux de la nef, comme pour les entrails et les chevrons.

Pour tous ces poinçons, la moitié inférieure a été sur-équarrée sur près de 5 m de long, du pied jusqu'au premier faux-entrait, afin de rectifier la forme tronconique naturelle du fût et pour alléger la pièce des fibres inutiles. Cet équarrissage a été forcé plus particulièrement pour les bois du chœur et du faux-transept, de plus fort diamètre et dont la section médiane passe de 18×18 cm à 15×15 cm en partie inférieure, provoquant systématiquement un tirage à cœur sur certaines faces (fig. II-12).

Pour les bois du chœur, le défilement (réduction de la circonférence par mètre) mesuré entre le milieu du poinçon et sa tête, où l'aubier est présent sur au moins deux à trois arêtes, est de $2,6$ cm/m, semblable donc à celui des chevrons et des entrails, ce qui indique des conditions de croissance similaires, dans un milieu fortement concurrentiel. Rapportée à la moitié inférieure, on obtient un diamètre théorique à la base du fût de 32 cm (circonférence de 99 cm).

Pour les poinçons de la nef, les bois sont étonnamment fins et réguliers avec un défilement de $0,7$ cm/m sur leur moitié supérieure, ce qui est



Fig. II-12 > Sur-équarrissage du poinçon de la ferme 62.

presque hors norme d'après les tables officielles actuelles. Nous n'expliquons pas encore ces résultats sinon par des croissances exceptionnelles et un milieu contraint au maximum des capacités biologiques du chêne. D'après ce défilement, le diamètre du fût aurait donc 25 cm en pied.

Les carottages dendrochronologiques ont été pratiqués sur 19 poinçons à la hauteur du faux-entrait, à 6 m du pied, au-dessus de la partie inférieure sur-équarrie, purgée des aubiers. À supposer que le ratio 3 années/mètre des chevrons peut s'appliquer aux poinçons, il faut donc rajouter une vingtaine d'années aux nombres de cernes mesurés des poinçons. On obtient ainsi un âge moyen de 74 ans pour les chênes destinés aux poinçons du chœur et de 76 ans pour ceux de la nef, soit des âges similaires.

Les chênes abattus pour les poinçons de la nef, lors des coupes de 1238, 1243-1244 et 1253-1254, étaient donc d'âge mûr (76 ans en moyenne), d'un diamètre de 25 cm en pied et de 22 cm en tête, pour une hauteur de fût de 12 m, et proviendraient de peuplements extrêmement denses. Ceux abattus en 1256-1257 pour le chœur avaient des âges similaires pour un fût plus épais et proviendraient donc d'un peuplement forestier moins dense que le précédent mais tout de même fortement contraint.

Les entrails retroussés

Long de 7,30 m, l'entrait retroussé a une section de 16 × 14,5 cm dans la nef (fig. II-13) alors que dans le chœur et la partie remaniée en 1263, il présente une partie médiane de forte section rectangulaire, de 20,5 × 15 cm, avec un fort délardement sur un flanc, contre 17 × 15 cm aux extrémités qui sont sur-équarries (fig. II-14). Disposé de chant, l'entrait retroussé peut ainsi mieux réceptionner les charges compressives transmises par la flexion des écharpes. Là encore, on constate donc pour ces bois des diamètres plus faibles dans la nef (22 cm) que dans le chœur et le faux-transept (28 cm).

Dans la nef, les fermes secondaires ont une structure différente de celles du chœur (fig. III-7). Leurs écharpes sont d'une seule pièce et s'assemblent à mi-bois à l'entrait retroussé qui travaille donc en traction en luttant contre l'écartement des chevrons. Dans le chœur les écharpes sont faites de



Fig. II-13 > Fermes de la nef.
Les écharpes des fermes secondaires sont continues et s'assemblent à mi-bois à l'entrait retroussé.



Fig. II-14 > Charpente du chœur. Vue des entrants retroussés des fermes secondaires.

deux pièces assemblées par tenon mortaise à l'entrant retroussé. Ce dernier reprend donc les charges des écharpes qui s'appuient sur lui, d'où leur plus forte section rectangulaire. Ces pièces sont aussi délardées en sous-face entre les assemblages des écharpes et les extrémités (fig. II-14) afin que les aisseliers puissent être embrevés avec une forte butée, tout en allégeant le bois du surplus de fibres.

Les 43 prélèvements dendrochronologiques effectués sur les entrants retroussés en partie médiane, c'est-à-dire à l'endroit où les aubiers sont les mieux conservés et

où la section est la plus importante, ont permis de déterminer deux lots distincts, qui correspondent chacun aux bois de la nef et du chœur. Ceux de la nef, abattus entre 1236 et 1243 d'après notre échantillonnage, ont un âge moyen de 58 ans alors que ceux du chœur, issus des coupes de 1256-1257, sont un peu plus jeunes, avec un âge moyen de 53 ans.

Ces entrants retroussés présentent donc un diamètre et un âge similaires à celui des chevrons dans leurs premiers mètres, que ce soit pour la nef ou le chœur. Ils ont donc été très vraisemblablement été taillés dans les mêmes arbres, dans leur moitié inférieure.

D'après les analyses dendrochronologiques, les entrants retroussés de F131 et F135 sont issus du même arbre, et possèdent précisément le même âge (47 ans), ce qui indique que sur près de 8 m de distance, il n'y a pas eu de perte de cerne et que le défilement de cet arbre était très faible.

Les écharpes

Les écharpes des fermes secondaires de la nef sont des bois longs de 8,50 m, taillés dans des grumes de 22 cm de diamètre en pied et de 16 cm en tête (fig. II-13), tandis que celles du chœur et du faux-transsept sont des bois bien plus courts, de 4 m de longueur seulement, qui sont complétés par des aisseliers sous les entrants retroussés, et qui sont taillés dans des billes de 21 cm de diamètre à la base et de 19 cm en tête.

Concernant leur âge, les écharpes de la nef sont issues de bois âgés en moyenne de 72 ans, avec toutefois une forte dispersion entre 49 et 91 ans (écart type de 14 années). Cette grande variabilité des âges, pour un diamètre pourtant homogène de 22 cm, ne peut s'expliquer par des localisations sur le fût à des hauteurs différentes mais plutôt par des conditions de croissance distinctes et de lieux d'approvisionnement divers, en rapport avec les multiples coupes de 1232 à 1243. Pour les écharpes du chœur, de 4 m de long, les analyses montrent nettement deux lots : le premier, pour la majorité des échantillons, avec un âge moyen de 47 ans et un écart type de 5, et un second, pour deux prélèvements seulement, qui concerne des billes de 25 ans correspondant certainement à des têtes de fûts. Pour la majorité des écharpes du chœur, il apparaît

qu'elles ont pu être taillées dans les mêmes grumes que celles utilisées pour les chevrons, dans leur partie médiane, à au moins 3 m de distance par rapport au pied d'après le ratio 3 années/mètre. Leur âge doit donc être majoré d'une dizaine d'années pour correspondre précisément à celui de l'arbre abattu.

Les bois courts (aisseliers, contrefiches, jambes de force et faux-entrants)

Les aisseliers qui complètent les écharpes du chœur ont été taillés dans des billes de 4 m de long et de 22 cm de diamètre, âgés en moyenne de 50 ans, avec un écart type important de 10 ans, d'après les 15 carottages effectués. D'après ce même ratio, ces bois proviendraient de la partie inférieure des mêmes grumes que celles dans lesquelles les chevrons ont été taillés.

Les contrefiches présentes uniquement sur les fermes principales sont des petits bois de 2,5 m de long, d'une section moyenne de $13,5 \times 11,5$ cm, avec de l'aubier sur deux à trois arêtes, ce qui correspond à des billes de 18 cm de diamètre. On a constaté que plusieurs présentent de nombreux nœuds, entre 4 à 10 sur la pièce et de 1 à 5 cm de large, témoignant probablement d'une tête de fût. Leurs carottages fournissent des âges variés compris entre 27 et 47 ans pour le chœur, confirmant une provenance dans la partie supérieure ou sommitale du fût, tandis que pour la nef, les trois échantillons montrent deux âges extrêmes : 30-36 ans et 101 ans, correspondant respectivement à une tête et un pied de fût.

Les jambes de force sont les éléments les plus courts de la charpente avec seulement 1,80 m de long originellement, avant le raccourcissement des fermes au XIX^e siècle. Elles présentent une section moyenne de 14×15 dans la nef et de $15,5 \times 16,5$ cm dans le chœur, avec de l'aubier sur deux arêtes le plus fréquemment, ce qui correspond respectivement à une bille de 22 cm et 23 cm de diamètre. Comme précédemment, dans la nef, il s'agit d'extrémités de fût avec des âges opposés (108 ou 46 ans), témoignant d'un pied et d'une tête, tandis que dans le chœur, la majorité provient de billes âgées de 43 à 57 ans, provenant vraisemblablement de l'about d'une partie médiane du fût.

Enfin, les faux-entrants, longs de 2,30 m et placés au sommet des fermes, sont les pièces de plus faible section (13×12 cm pour la nef et $12 \times 10,5$ cm pour le chœur), correspondant à des billes de 16 cm de diamètre. On y relève fréquemment de l'aubier aux arêtes et des nœuds de 2 à 10 cm. Les cinq carottages effectués dans ces bois sur le chœur donnent des âges compris entre 39 et 57 ans, comme pour les autres petites pièces du chœur, confirmant des extrémités sommitales de fûts.

L'équarrissage

Toutes les pièces de la charpente présentent une qualité d'équarrissage tout à fait remarquable puisque la surface des bois est quasiment plane avec des cupules, laissées par les coups de doloire, larges et peu profondes. Cette qualité de taille n'est pas exceptionnelle pour cette époque puisqu'elle s'observe également sur les bois de nombreuses autres charpentes du

XIII^e siècle en France septentrionale. Cette qualité d'équarrissage tend à disparaître au début du XV^e siècle, avec une taille plus grossière et des cupules plus profondes qui donneront à la surface du bois un aspect plus irrégulier.

Sur certaines pièces, on observe des traces de coups de hache, distants de 37 à 48 cm (fig. II-15), qui correspondent au fond d'entailles réalisées perpendiculairement à l'axe longitudinal du bois, soit avec une hache au tranchant large soit avec une cognée ou une hache à tranchant étroit. Ces entailles successives correspondent à un ébauchage préliminaire à l'équarrissage qui permettait de faciliter le dégrossissage et le retrait des dosses (fig. II-16). Cette technique est commune aux charpentes des XII^e-XIII^e siècles en Normandie comme en Bourgogne¹⁶. Elle était encore préconisée dans certains traités de charpenterie du XVIII^e siècle¹⁷ et se pratique toujours aujourd'hui dans les pays d'Europe de l'Est.



Fig. II-15 > Ferme 124,
aisselier nord,
traces d'ébauchage.

Fig. II-16 > Équarrissage
d'une grume
après ébauchage,
chantier de Guédelon
(Yonne).



Tous les chevrons et les entrails retroussés ont été sur certaines parties sur-équarris, avec un délardement allant jusqu'à 2 à 3 cm d'épaisseur (fig. II-17). Pour les chevrons, ce sur-équarrissage est effectué en pied sur 1,50 m, entre la base et le tenon-mortaise de la jambe de force tandis que pour les entrails retroussés, il est réalisé sur près de 2 m entre l'extrémité et l'assemblage de l'aiselier. En réduisant la section du bois, le sur-équarrissage permettait d'offrir un embrèvement aux assemblages des raidisseurs, c'est-à-dire une meilleure butée aux tenons-mortaises pour leur assurer une bonne reprise des charges de compression, tout en allégeant la pièce de sa matière inutile. L'emplacement du délardement a donc été délimité avec le tracé des assemblages sur épure, et sa taille a par conséquent été faite au moment de l'exécution des assemblages. La taille des grumes s'est donc effectuée en deux temps avec un premier équarrissage commun à toutes les pièces au plus près du diamètre de la grume, et un second, correspondant au sur-équarrissage, réalisé après que les bois équarris ont été placés sur l'épure et piqués au fil à plomb pour tracer l'emplacement des assemblages et délimiter ainsi la surface à délarder.



Fig. II-17 > Ferme 65, entrail retroussé délardé.

Concernant les entrails et les poinçons, on observe qu'un sur-équarrissage a aussi été opéré sur de grandes longueurs, non pas pour offrir des embrèvements aux assemblages, mais pour alléger les bois et leur donner une forme plus adaptée à la structure des fermes, comme cela a déjà été évoqué plus haut pour ces bois. Ainsi, les poinçons ont été sur-équarris en partie inférieure sur près de 5 m de long (fig. II-12), afin de corriger la forme tronconique du fût, la rendre plus fine et l'alléger des fibres inutiles pour la fonction de cette pièce. D'une section de 15 × 14,5 cm en pied, les poinçons du chœur auraient dû avoir une section de 22,6 cm de côté s'ils n'avaient pas été sur-équarris, ce qui est très important. Pour les entrails, là aussi, la forme tronconique de la grume a dû être corrigée par un sur-équarrissage sur toute sa moitié inférieure, correspondant à la base du tronc, de façon à obtenir une pièce symétrique et allégée du surplus de fibres inutiles.

Le sur-équarrissage des bois a été réalisé nécessairement sur le chantier, et non en forêt, puisqu'il ne pouvait être fait qu'après le tracé sur épure. Quant à l'équarrissage des grumes, il est fort probable qu'il fut également réalisé aussi sur le chantier, au pied de la cathédrale, et non en forêt pour trois raisons. La première est que les chevrons, une fois équarris, sont trop fins et longs pour subir un transport sur une longue distance par eau ou par charroi sans risquer de les rompre. La seconde est que l'équarrissage des grumes selon des sections précises ne peut se faire qu'avec des mesures fournies par les charpentiers travaillant à l'épure, ce qui suppose une proximité avec celle-ci. Enfin, comme cela a été remarqué précédemment, il a été observé sur la plupart des bois un chevillage particulier, destiné vraisemblablement au transport des

grumes. Or toutes ces chevilles ont été systématiquement recoupées lors de l'équarrissage, ce qui tendrait à prouver, s'il s'agit bien d'un chevillage lié au transport, que l'équarrissage s'est bien effectué après leur transport, sur le lieu même du chantier. Par ailleurs, rappelons que les traces de carbonisation observées sur plusieurs bois tendraient à démontrer l'existence sur le chantier même d'un stock de bois à l'état de grumes, issus des différentes campagnes d'abatage. Leur équarrissage aurait donc été effectué sur le chantier même.

Les bois tors

Dans la nef¹⁸ comme dans le chœur¹⁹, plusieurs pièces (chevrons, aisseliers, écharpes) présentent des fibres torsées, c'est-à-dire des fibres qui montent en spirale autour de l'axe central du fût, dans le sens horaire ou antihoraire. Il s'agit d'un mode de croissance naturel relativement fréquent chez le chêne, attribué à une anomalie génétique héréditaire. Ces bois ont été mis en œuvre au même titre que les autres, sans considération spécifique. Cependant, après leur mise en place certains d'entre eux se sont déformés en séchant, en pivotant sur leur axe de plusieurs centimètres. Ces déformations ont provoqué du jeu dans les assemblages (fig. II-18), parfois jusqu'à leur rupture et, pour le pied des chevrons, une déviation de la jambe de force et du blochet (fig. II-19), entraînés dans le mouvement par les assemblages.

La déformation de ces bois tors s'explique par le fait que ceux-ci ont une tendance plus prononcée que les bois de droit fil à se déformer au séchage, d'autant plus s'ils sont fortement équarris. Les déviations témoignent donc que ces bois ont été mis en place juste après leur équarrissage et la taille des assemblages.



Fig. II-18 > Ferme 116, aisselier sud vrillé.



Fig. II-19 > Ferme 63, chevron sud taillé dans un bois tors déformé au séchage.

LA FORÊT EXPLOITÉE

Le choix des arbres

Tous les éléments de la charpente du XIII^e siècle sont des chênes équarris à la doloire, avec le cœur de l'arbre conservé dans chaque pièce (bois de brin). Dans l'ensemble, les bois sont plus ou moins sinueux avec parfois des courbures assez prononcées sur certains chevrons, notamment en partie supérieure. Cette courbure naturelle des bois n'a visiblement pas été considérée comme un handicap par les charpentiers, ni pour leur sélection, ni pour leur mise en œuvre qui montre une parfaite maîtrise des ajustements des bois courbes et de leurs assemblages.

Le long de ces pièces, on relève la présence d'aubier sur au moins deux arêtes en moyenne, ce qui indique que l'équarrissage des grumes a été minimal. Cette économie du dégrossissage des grumes représentait un gain de temps de travail non négligeable mais il témoigne surtout du fait que les chênes abattus correspondaient de très près aux sections recherchées par les charpentiers. La sélection des arbres en forêt a donc été faite à l'aide de mesures pour que les fûts choisis en forêt correspondent précisément au diamètre et à la longueur recherchés. Ce mode de sélection des arbres est illustré par un texte de 1144 resté célèbre qui relate la recherche en forêt par l'abbé Suger de douze bois pour la charpente du chevet de l'église abbatiale de Saint-Denis : « M'étant rapidement débarrassé de toutes autres obligations, je partis de très bon matin et me rendis en toute hâte avec nos charpentiers munis des mesures des poutres, à la forêt qu'on appelle Iveline. Comme nous traversions nos possessions de la vallée de Chevreuse, nous fîmes venir les gardiens de nos forêts qui connaissaient aussi très bien les autres forêts et nous leur demandâmes de dire, sur la foi du serment, si nous y trouverions, fut-ce au prix d'un grand travail, des poutres de cette longueur. Ils ne firent que sourire et ils auraient ri s'ils avaient osé ; ils s'étonnaient que nous ne sachions pas que rien de tel ne pourrait être trouvé dans toute la région... Mais nous, avec l'audace de notre foi, nous entreprîmes de chercher dans toute la forêt ; et vers la première heure, nous trouvâmes une poutre qui avait la taille convenable. Que dire de plus ? Vers la neuvième heure ou peut-être plus tôt, à travers les buissons, l'épaisseur des forêts et les fourrés de ronces, nous avons marqué douze poutres, c'est-à-dire exactement celles qui nous étaient nécessaires²⁰. » Cette recherche par furetage des bois destinés très vraisemblablement aux douze entrants du chœur de l'abbatiale, les éléments de plus forte section, rend compte de l'utilité de ces mesures pour les bûcherons dans la sélection des bois. Comme pour les bois de la cathédrale de Bourges, la recherche des fûts à l'aide de mesures précises, correspondant au diamètre et à la longueur des différents types de bois à consommer, a été pratiquée par le maître charpentier et ses bûcherons. La standardisation des pièces de la charpente, autour de 22 cm de diamètre pour la nef et de 27 cm pour le chœur pour la majorité des bois, traduit des mesures utilisées pour la sélection des arbres en forêt.

Les types d'arbres abattus

Parmi les indicateurs dendrométriques dont nous disposons pour identifier les différents types de bois utilisés, retenons le diamètre, la longueur, le profil du fût (défilement ou décroissance métrique moyenne) et l'âge moyen (fig. II-6-7). Le défilement renseigne ainsi sur la forme du fût plus ou moins tronconique et donc sur la densité du peuplement forestier d'après des tables

officielles²¹. Il permet ainsi de repérer des analogies morphologiques entre les différents bois, lorsque ceux-ci sont conservés sur une longueur suffisante pour effectuer ce calcul. Enfin, il faut rajouter les types de croissance des bois qui définissent les modalités de régénération du peuplement forestier et son évolution.

Au regard des données dendrométriques, on distingue nettement trois types d'arbres qui ont été utilisés pour les charpentes de la nef et du chœur (fig. II-20). Le premier type concerne 94 % des bois de la charpente et correspond à des arbres jeunes de faible diamètre. Les deux autres concernent des bois plus épais et âgés, exclusivement pour les entrails et les poinçons.

Type d'arbre	Défilement (cm/m)	Âge moyen (années)	Diamètre et longueur minimale de la grume	Pièces	Quantité de grumes	Proportion (%)
Type 1	1,6	59 et 87	23 cm / 14 m	Fermes	428	81
				Contreventements, sablières	63	491
Type 2	0,7	76	25 cm / 12 m	Poinçons	17	3
Type 3	2,1	90	38 cm / 15-20 m	Entrails	17	3
Total					525	100

Type d'arbre	Défilement (cm/m)	Âge moyen (années)	Diamètre et longueur minimale de la grume	Pièces	Quantité de grumes	Proportion (%)
Type 1	2,5	56	28 cm / 14 m	Fermes	335	83,75
				Sablières, contreventement	39	374
Type 2	2,6	74	32 cm / 12 m	Poinçons	12	3
Type 3	2,5	125	45 cm / 15-20 m	Entrails	14	3,5
Total					400	100

Fig. II-20 > Tableaux des types d'arbres exploités dans la nef (en haut) et le chœur (en bas).

Arbre de Type 1

Le premier type d'arbre (Type 1) correspond aux bois utilisés pour l'essentiel (94 %) des pièces de la charpente, à savoir les chevrons, toutes les pièces secondaires de plus faible diamètre des fermes (écharpes, aisseliers, jambe de force, contrefiches...) et les éléments du contreventement. Les chevrons sont les bois les plus proches de la forme complète du fût de ces arbres, en raison de leur grande longueur (14 m) et de leur équarrissage minimal. Si la tête du fût est bien comprise dans ces chevrons, le pied a vraisemblablement été plus long de 1 à 2 m minimum, utilisé dans certains cas pour tailler une jambe de force. Les pièces secondaires d'un diamètre inférieur et qui possèdent moins de cernes (aisseliers, écharpes, jambes de force...) correspondent aux parties médianes et supérieures des mêmes fûts. Quant aux pièces de très faible diamètre (16 à 18 cm) qui présentent des nœuds plus ou moins gros (faux-entrails supérieurs et contrefiches), elles ont été taillées dans la tête de ces grumes, à proximité du houppier. Les entrails retroussés, d'un diamètre équivalent à celui du pied des chevrons, proviennent de la moitié inférieure de ces fûts. Concernant les éléments longitudinaux, le diamètre et la

longueur des billes nécessaires à leur taille correspondent là aussi aux bois de Type 1, avec des diamètres compris entre 18 et 24 cm à la base et des longueurs inférieures à 12 m.

D'une longueur minimale de 14 m et d'un diamètre en pied de 23 cm dans la nef et de 28 cm dans le chœur, pour 16 cm en tête, ces bois ont une décroissance métrique moyenne²² très faible, respectivement de 1,6 cm/m et de 2,5 cm/m. Le fût de ces arbres est donc de faible diamètre, fin, au profil très élancé et régulier sur une grande hauteur. À noter aussi la faible quantité de nœud de branche charpentière le long des bois qui suppose un houppier très peu développé, uniquement en partie sommitale.

Les premiers abattages de 1230 jusqu'en 1242 concernent des arbres à croissance moyenne à lente (0,9 à 1,5 mm) et âgés (87 ans en moyenne) (fig. II-21 et II-23). À partir du printemps 1243 et jusqu'aux derniers abattages en 1263, tous les arbres de Type 1 sont plus jeunes (55-60 ans en moyenne) et de croissance rapide (1,50 à 3 mm).

Les chênes issus des premiers abattages de la nef (1230-1242), plus âgés que les suivants, peuvent être observés aujourd'hui dans certaines futaies comme en forêt de Bercé (Sarthe) (fig. II-24). Mais les arbres provenant des coupes suivantes (1243-1263), d'un âge de 50-60 ans avec des fûts aussi fin et élancés, sont introuvables dans les futaies actuelles, ce qui suppose un mode régénération particulier et des conditions sylvicoles exceptionnelles. En tout état de cause, ces arbres proviendraient d'une futaie très densément peuplée où la forte mise en concurrence des sujets les a obligés à croître rapidement en hauteur, vers la lumière, et non en diamètre.

Arbre de Type 2

Le deuxième type d'arbre (Type 2) correspond aux bois destinés exclusivement à la taille des poinçons (fig. II-20). Il ne représente qu'une très faible quantité de bois (3 %) à l'échelle de tous les bois consommés dans la charpente. Il se distingue du Type 1 par un plus fort diamètre et un âge plus avancé, de 75 ans en moyenne pour la nef et le chœur. Les bois ont une longueur minimale de 12 m, un diamètre en pied de 25 cm pour la nef, de 32 cm pour le chœur et de 20 cm en tête avec un défilement respectif de 0,7 cm/m et de 2,6 cm/m. Leur finesse et leur élancement supposent que la hauteur du fût pouvait largement dépasser les 12 m. Ces bois, tous issus d'abattages postérieurs à 1243 (fig. II-21 et II-22), ont des croissances rapides, plus diffuses dans la nef (1,50 à 3 mm) que dans le chœur (2 à 2,5 mm), témoignant peut-être pour ce dernier d'un approvisionnement unique dans une futaie homogène.

Ceux de la nef ont un diamètre qui les apparente aux bois de Type 1 du chœur mais leur âge plus avancé et leur défilement de 0,7 cm/m les en distinguent nettement avec une croissance plus contrainte et un élancement beaucoup plus prononcé, aux limites biologiques du chêne. Leur faible quantité dans la structure (3 %) et leurs caractéristiques exceptionnelles indiqueraient un approvisionnement sélectif de ces bois dans des peuplements extrêmement denses. Quant aux bois de Type 2 du chœur, ils correspondent à ceux de Type 1 de cette même structure à un stade plus avancé de leur croissance, avec un âge et un diamètre plus développé, dans des conditions sylvicoles similaires du fait d'un défilement quasiment identique.

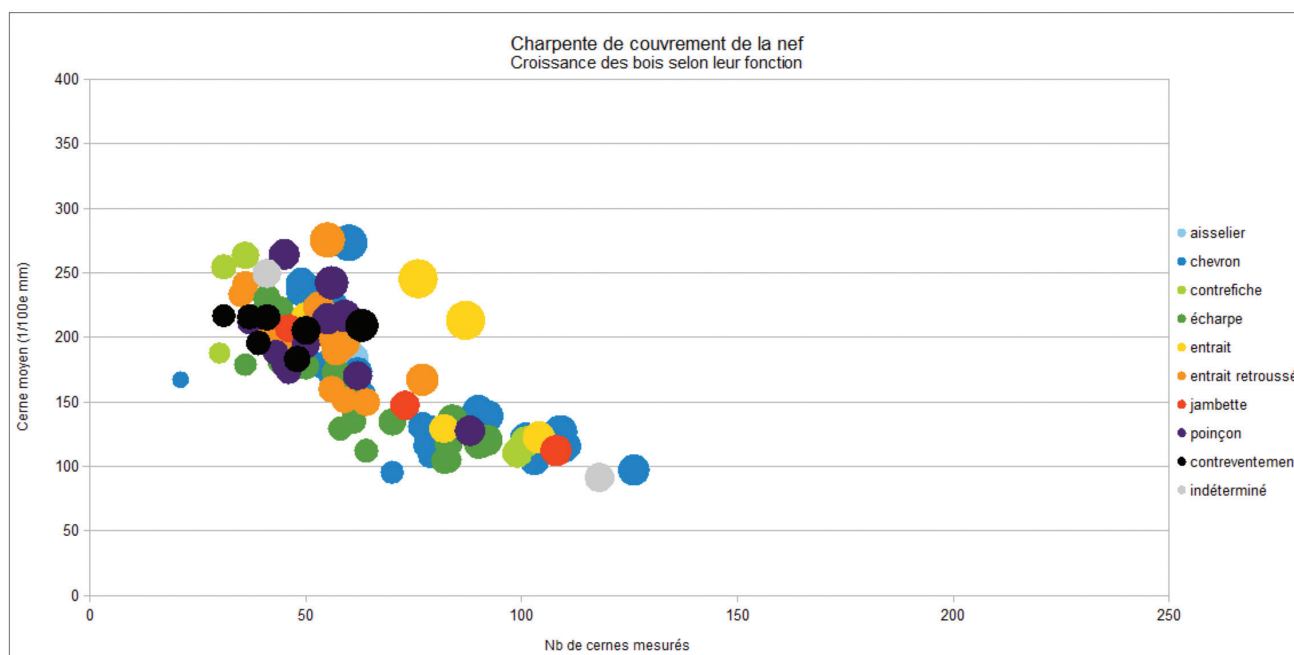
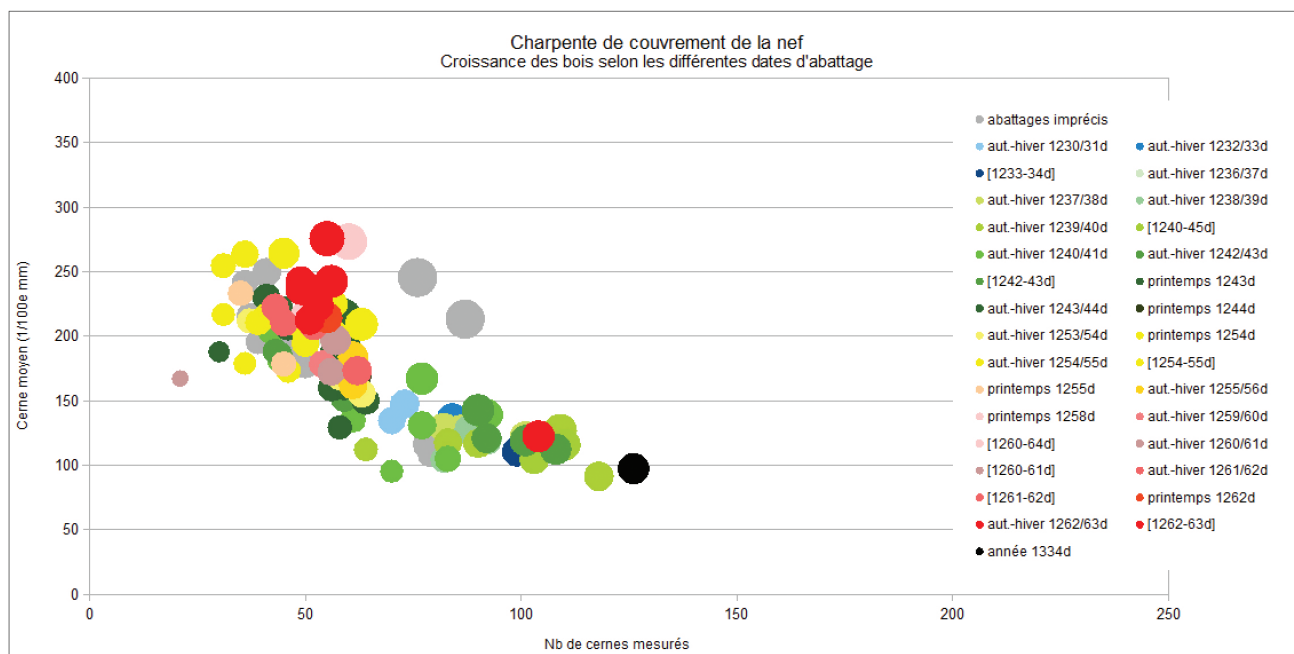


Fig. II-21 > Distribution des bois de la nef selon leurs âge et croissance moyenne (Dendrotech 2015). Le nombre de cernes mesurés des pièces secondaires (aisselier, contrefiche, écharpe, jambette, entrain retroussé supérieur) et de certains entrains doit être majoré de 5 à 20 ans pour correspondre à l'âge de l'arbre.

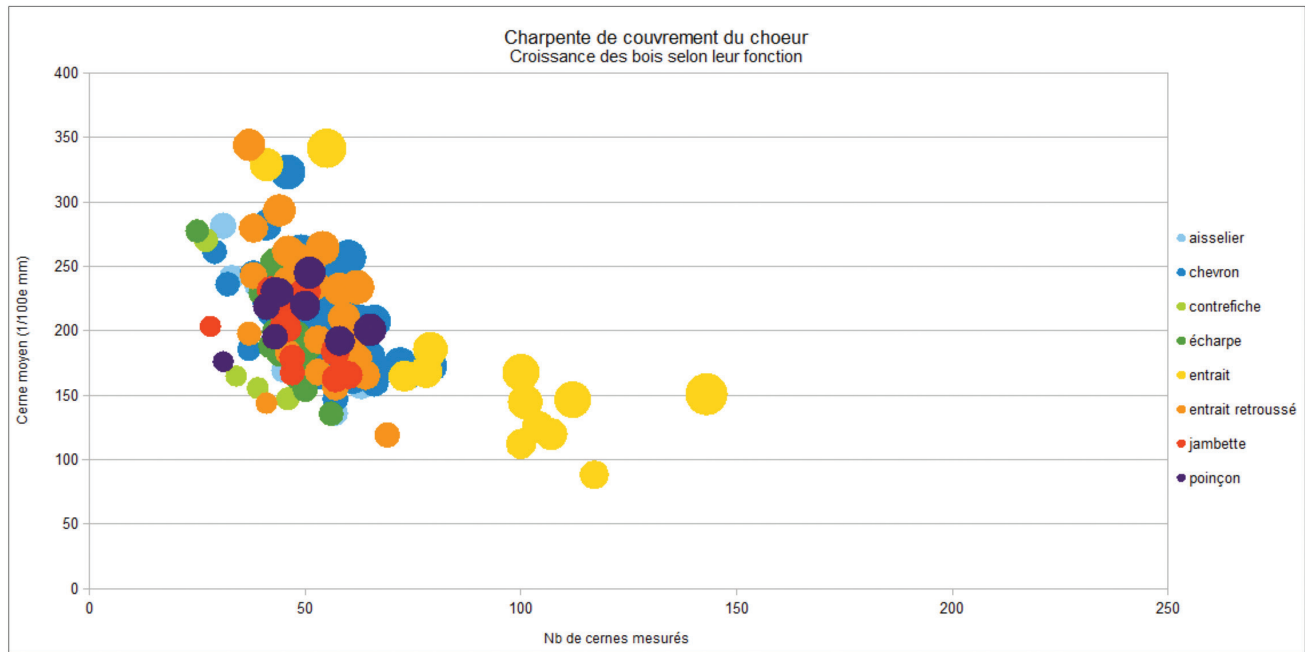
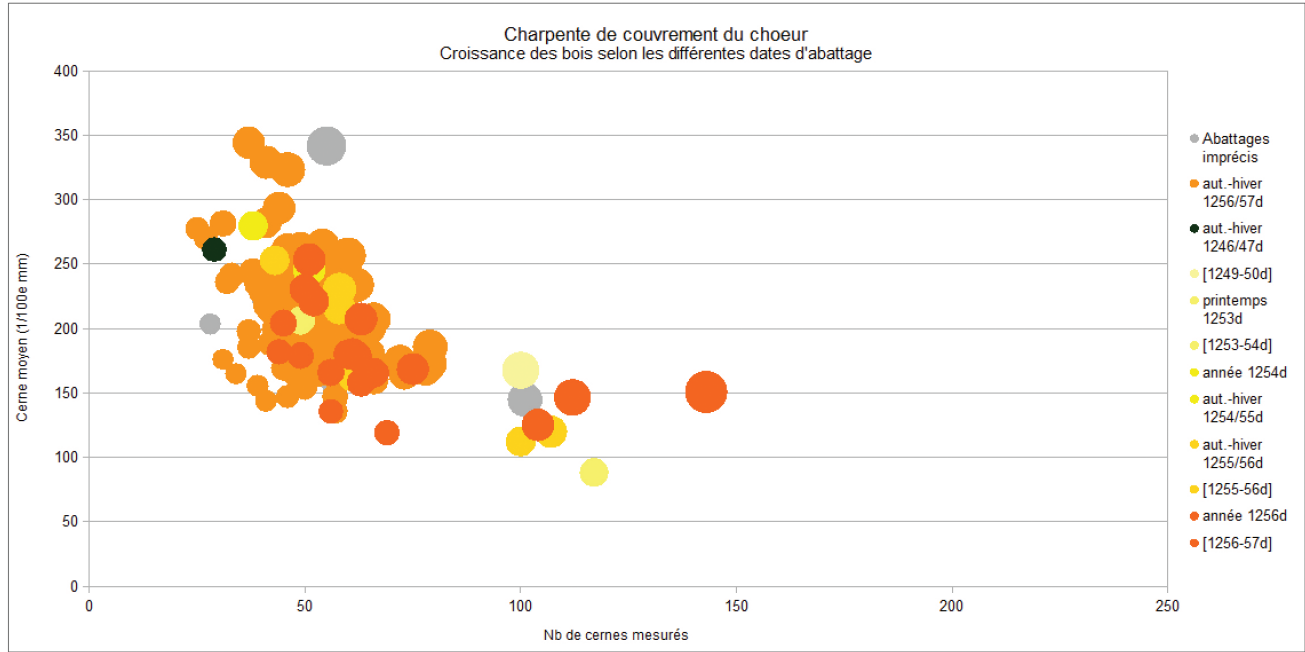


Fig. II-22 > Distribution des bois du chœur selon leurs âge et croissance moyenne (Dendrotech 2015). Le nombre de cerne mesurés des pièces secondaires (aisselier, contrefiche, écharpe, jambette, entrain retroussé supérieur) et de certains entrains doit être majoré de 5 à 20 ans pour correspondre à l'âge de l'arbre.



Fig. II-24 > Forêt de Bercé (Sarthe).
Chêne de 28 cm de diamètre en pied, de 16 m de hauteur
jusqu'à la fourche et âgé de 77 à 83 ans.
Chêne de Type 1.



Fig. II-25 > Forêt de Bercé (Sarthe).
Chêne de 32 cm de diamètre en pied (à 1,50 m du sol),
de 21 m de hauteur de fût exploitable et âgé de 132 ans.
Chêne proche du Type 2 excepté son âge.

Comme précédemment, ce Type 2 correspond à des arbres très élancés, fins et réguliers, avec un houppier peu développé en tête et un âge moyen qui les rend tout à fait exceptionnels dans le contexte de la sylviculture actuelle. S'il est possible de rencontrer aujourd'hui des sujets avec des diamètres et des hauteurs similaires, ils sont par contre systématiquement plus âgés (fig. II-25).

Arbre de Type 3

Enfin, le troisième type d'arbre (Type 3) correspond aux bois de forte section, destinés exclusivement aux entrails. Là aussi, leur proportion est limitée à 3 % seulement des bois de la charpente (fig. II-20-23). La bille avait une longueur minimale de 15 m, pour un diamètre en pied de 38 cm dans la nef, de 45 cm dans le chœur, avec un défilement respectif de 2,1 cm/m et de 2,5 cm/m. Vu le diamètre en tête de ces billes (28 cm dans la nef et 31 cm dans le chœur), il est fortement probable que ces bois se prolongeaient bien au-delà et que leur fût pouvait atteindre les 20-25 m de longueur. L'âge moyen de ces bois reste là encore très jeune pour les diamètres en question avec 90 ans pour ceux de la nef et 125 ans pour ceux du chœur.

Dans la nef, la croissance de ces bois reste dans la moyenne des autres bois (entre 100 et 250 mm), avec toutefois des fortes différences entre eux. Deux d'entre eux, isolés dans les moyennes – E26 et E46 –, ont des croissances plus rapides (cerne moyen respectif de 213 et 245 mm) pour des âges tout de même avancés, suggérant un contexte forestier plus ouvert. La population est plus homogène dans le chœur (1256-1257) où, contrairement aux bois de Type 1 et 2 qui ont des croissances fortes (150-350 mm), les bois de Type 3 ont majoritairement des croissances faibles (100-180 mm), avec des âges bien sûr plus avancés du fait de leur forte section. À ces derniers, il faut associer ceux du remaniement de la nef de 1263 à croissance faible également.

Le profil de ces arbres reste là encore le même que pour les types précédents avec un fût très élancé, haut, fin et régulier, dépourvu de branches charpentières sur sa longueur, mais avec un diamètre plus important (fig. II-26 et II-27). Ils pourraient correspondre aux arbres de Type 1 et 2 à un stade plus avancé de leur évolution. Comme pour les douze arbres recherchés en forêt d'Iveline par l'abbé Suger, ces bois ont été prélevés isolément par furetage dans des peuplements distincts des précédents, à l'aide de mesures précises.



Fig. II-26 > Forêt de Bercé (Sarthe).
Au centre de la photo, chêne au fût de 36 cm de diamètre en pied, de 22 m de hauteur jusqu'à la base du houppier et âgé de 132 ans.
Chêne semblable aux arbres de Type 3 de la nef excepté son âge (90 ans).



Fig. II-27 > Forêt de Bercé (Sarthe).
Chêne au fût de 44 cm de diamètre au pied, de 18 m de hauteur jusqu'à la base du houppier et âgé de 150 ans (densité de 200 chênes/ha).
Chêne semblable aux arbres de Type 3 du chœur excepté son âge (125 ans).

La consommation en bois d'œuvre et le débitage des grumes

À partir des mesures dendrométriques établies pour chacune des pièces (diamètre, longueur, âge moyen), il est permis de proposer un mode de débitage des grumes en tentant de faire un remontage des différentes pièces mises bout à bout, en tête et en pied, pour reconstituer les billes (fig. II-6 et II-7). L'objectif de cette restitution est d'estimer la quantité de grumes consommées par cette charpente, notamment pour les bois de Type 1 puisque pour les bois destinés aux entrails et poinçons (Types 2 et 3) sont consommés presque intégralement (exemple : 1 entrait = 1 bois de Type 3).

Les diamètres restitués des grumes tiennent compte des sections des pièces, des corrections apportées par le calcul du défilement des bois lorsque ceux-ci sont sur-équarris, et de l'estimation de l'aubier perdu à l'équarrissage. D'après ces diamètres et le nombre de cernes mesurés des différents types de pièces, renseignant indirectement leur position le long de la grume²³, nous pouvons proposer un remontage des grumes pour la charpente de la nef et du chœur (fig. II-28).

La plupart des éléments de la charpente, excepté les entrails et les poinçons, sont issus du débitage d'arbres de Type 1, long de 14 m minimum et de 23 cm de diamètre en pied pour la nef et de 28 cm pour le chœur. Les fûts les plus droits furent utilisés pour les chevrons et aussi pour le débitage des pièces secondaires les plus longues comme deux écharpes ou une écharpe avec un faux-entrait. Ceux qui comportaient une fourche trop basse ou une courbure trop prononcée furent découpés en deux ou trois billes pour les pièces secondaires, plus courtes. Par exemple, un entrait retroussé, une jambe de force et une à deux contrefiches peuvent être taillés dans une seule grume de 12 m de long minimum, de 22 cm de diamètre à la base, avec les bois de plus forte section (entrait retroussé) taillés dans la partie inférieure et les éléments de faible section (contrefiche), en partie haute. L'approvisionnement des bois d'œuvre, fait par furetage ou par coupe rase, comprenait inévitablement des bois difformes, dans des proportions qui variaient selon la qualité des peuplements exploités. Toutes ces pertes doivent donc être aussi prises en compte.

Ainsi, selon ces modalités de calcul, on compte pour chaque ferme secondaire une consommation minimale de cinq grumes de Type 1, de 14 m minimum pour la nef et le chœur (fig. II-20). Pour les fermes principales, outre le poinçon et l'entrait, elle se limite à quatre grumes. Les pièces longitudinales (sablères et contreventements), quant à elles, consomment pour deux travées sept grumes de Type 1. Enfin, la croupe suppose l'utilisation de soixante-sept grumes de Type 1, une de Type 2 et trois de Type 3.

On obtient ainsi pour la charpente de la nef et du chœur, avant le remaniement de 1263, une consommation minimale de 925 arbres, avec une très grande majorité (94,5 %) de grumes longues de 14 m et de 23-28 cm de diamètre, essentiellement pour le chevronnage et leurs raidisseurs. Les bois les plus épais (jusqu'à 45 cm de diamètre) ne représentent finalement que 6 % des abattages, pour les entrails et les poinçons.

Structure	Pièces	Grumes	Longueur (m) minimale de la bille	Diamètre (cm) au pied de la bille
1 ferme secondaire	2 chevrons	2	14	23
	1 entrain retroussé + 2 blochets + 1 jambe de force	1	12	22
	1 écharpe + faux-entrain	1	12	22
	1 écharpe + 1 jambe de force	1	12	22
1 ferme principale	2 chevrons	2	14	23
	Faux-entrain inf. + 1 jambe de force + 2 contrefiches	1	14	22
	Faux retroussé sup. + 1 jambe de force + 2 aisseliers	1	14	22
	Poinçon	1	12	25
	Entrain	1	15	38
Pièces longitudinales pour 2 travées	2 liernes inf. + 2 liernes sup.	1	13	23
	4 écharpes	2	13	23
	Sablières	2	12	23
	Contreventement des chevrons	2	12	18

Structure	Pièces	Grumes	Longueur (m) minimale de la bille	Diamètre (cm) au pied de la bille
1 ferme secondaire	2 chevrons	2	14	28
	1 entrain retroussé + 1 aisselier	1	12	28
	1 jambe de force + 1 aisselier + 1 écharpe	1	12	23
	1 jambe de force + 2 blochets + 1 écharpe + faux-entrain	1	13	23
1 ferme principale	2 chevrons	2	14	28
	1 faux-entrain retroussé + 1 jambe de force + 1 aisselier + 1 contrefiche + faux-entrain	1	15	28
	1 entrain retroussé + 1 jambe de force + 1 aisselier + 1 contrefiche	1	14	26
	Poinçon	1	12	32
	Entrain	1	15	45
Pièces longitudinales pour 2 travées	2 liernes inf. + 2 liernes sup.	1	13	23
	4 écharpes	2	13	23
	Sablières	2	12	23
	Contreventement des chevrons	2	12	18

Fig. II-28 > Tableaux de remontage des grumes pour les charpentes de la nef (en haut) et du chœur (en bas).

Cette estimation de 925 chênes correspond à la somme de toutes les pièces de la charpente mises bout à bout, et non de la quantité d'arbres réellement abattus. Pour évaluer celle-ci, il faut prendre en compte les nombreuses pertes évoquées ci-dessus, liées aux bois courbes et fourchus et dont la quantité varie selon la qualité du peuplement.

Le chantier expérimental de Guédelon (Nièvre), qui a permis de reproduire en 2008-2010 une charpente voûtée du XIII^e siècle selon des techniques de taille médiévales, a été justement l'occasion d'évaluer ces pertes en comptant précisément les chênes consommés par rapport aux estimations prévues²⁴. Ces dernières avaient été évaluées d'après les mêmes modalités de calcul que celles établies ici, en mettant bout à bout les pièces de la charpente selon leur section. Ainsi, la consommation attendue était de 143 arbres alors que la réalisation de la charpente a nécessité l'abattage de 180 chênes, soit 26 % en plus de ce qui avait été prévu, en raison des bois courbes et fourchus. Il faut noter que les bois abattus avaient été sélectionnés sur pied par furetage dans le cadre d'une éclaircie d'une futaie dense et correspondaient au plus près aux besoins des charpentiers.

Si on rapporte cette proportion à notre calcul, on obtient au total 1 170 chênes abattus pour la construction des charpentes de la nef et du chœur.

Ainsi, la construction de la charpente du vaisseau principal de la cathédrale aurait nécessité l'abattage de 1 170 chênes, soit 630 m³ environ²⁵. Cette estimation ne prend pas en compte les bois du remaniement de 1263, ni ceux des charpentes des collatéraux, des beffrois et couvrements des tours de façades, des échafaudages ni du lattis de la couverture.

Pourtant, le lattis en chêne refendu destiné à la couverture de grandes tuiles devait représenter une consommation en bois très importante en raison des 7 960 m² de superficie de toiture à couvrir, uniquement pour le grand vaisseau. Le volume des lattes de cette couverture, selon les sections restituées des lattes²⁶ et leur espacement relevé sur certains bois²⁷, est estimé à 20 m³ en produit fini. Sachant que leur production suppose des pertes importantes²⁸, de 40 à 60 % environ, on évalue une quantité de 70 à 100 grumes de 25 cm de diamètre ou de 20 à 30 grumes de 45 cm de diamètre nécessaire à la production du lattis de la couverture.

Les lieux d'approvisionnement : la forêt de Saint-Palais ?

Réalisées par le laboratoire EFC Lab, les analyses des variations de l'aspect macroscopique et microscopique du bois dues à l'influence des facteurs externes laissent penser, bien qu'il y ait une variabilité dans l'âge et dans la largeur de cerne, que les bois de la nef et du chœur proviennent de la même forêt²⁹. L'analyse de la croissance radiale des carottes issues du chœur reflète le même profil de croissance que celui des bois de la nef avec une régularité dans les cernes. Pour des raisons de logistique, il semble en effet logique que les approvisionnements de ce gigantesque chantier aient été faits depuis une seule et unique forêt.

Le chapitre Saint-Étienne possédait-il donc une forêt susceptible d'avoir approvisionné ce chantier ?

D'après Buhot de Kersers, l'archevêque de Bourges et le chapitre Saint-Étienne détenaient depuis le XII^e siècle des droits dans la forêt de Saint-Palais, située à une vingtaine de kilomètres au nord de Bourges³⁰ (fig. II-29). D'autres seigneuries possédaient aussi des droits dans cette forêt comme le châtelain de Saint-Palais, le prieuré de Saint-Palais et l'abbaye cistercienne de Lorroy qui y fut fondée vers 1125-1128 par l'archevêque de Bourges Vulgrin³¹. Une charte d'affranchissement de 1279 ainsi qu'un texte de transaction de 1287 confirment que cette forêt était bien détenue en partage par l'archevêque de Bourges, le chapitre Saint-Étienne, l'abbaye de Lorroy et la chàtellenie de Saint-Palais³². Cette dernière fut cédée en 1496 à l'archevêché ainsi que tous ses droits de justice, ses terres et sa forêt³³.

Pour le XIII^e siècle, il n'existe pas d'autres mentions de possession de bois pour le chapitre et l'archevêché. Le cartulaire du chapitre de Bourges³⁴ qui décrit les domaines fonciers qu'il possédait dans les premières décennies du XIII^e siècle mentionne quatre *grangia* situés à Beaulieu-sur-Loire, Sury-en-Vaux, Bengy et sur le plateau de Barillon à Chery. Dans ce document sont détaillés les revenus et les droits que le chapitre y faisait valoir de l'exploitation de terres cultivées, de vignes, d'étangs, de prairies, de moulins mais pas de bois³⁵. À la fin du XIII^e siècle, un état des revenus en argent du chapitre mentionne toutes sortes de rétributions parmi lesquelles des récoltes en céréales, vignes, étangs, cens, divers produits des domaines ruraux, mais toujours aucune ressource forestière³⁶. Toutefois, ces documents ne témoignent pas de l'exhaustivité des biens de l'évêché et certaines possessions et droits comme ceux de la forêt de Saint-Palais n'y sont pas mentionnés.

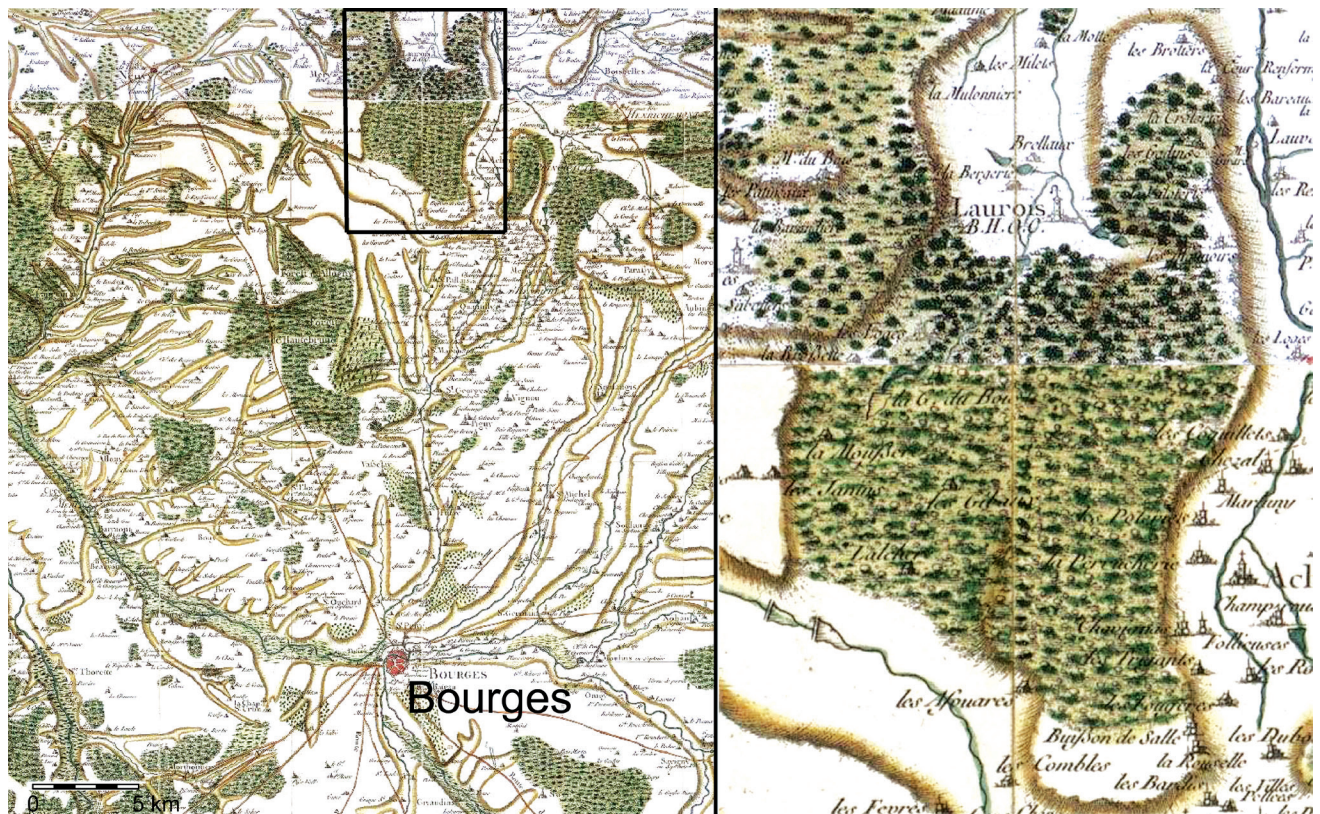


Fig. II-29 > Localisation de la forêt de Saint-Palais et vue rapprochée (Carte de Cassini, feuille de Bourges, 1756-1760).

À la fin du Moyen Âge, les textes montrent que les grands travaux de charpenterie effectués à la cathédrale et aux biens du chapitre et de l'archevêché sont approvisionnés depuis la forêt de Saint-Palais. Lors du chantier de reconstruction de la tour nord, et de la mise en œuvre du beffroi en février 1530, on fit équarrir 121 pièces à partir des arbres abattus par le vent dans la forêt de Saint-Palais, quelques semaines avant la mise en place du beffroi. Ces pièces de charpente venaient compléter d'autres bois précédemment abattus en 1523³⁷.

Au xvii^e siècle, cette forêt de Saint-Palais est exploitée par l'archevêché et le chapitre pour les besoins en travaux d'entretien et de réparation des châteaux, maisons, domaines et églises paroissiales, mais aussi pour leur chauffage³⁸. Enfin, elle est mentionnée en 1789 dans un document qui recense les biens du chapitre Saint-Étienne avec le droit d'y prendre les bois nécessaires aux réparations de la cathédrale³⁹.

On apprend en 1554 que l'archevêché détenait 1 265 arpents (520 ha) dans la forêt de Saint-Palais, dans sa partie méridionale, le chapitre Saint-Étienne 400 arpents (164 ha), au nord-est, avec droit de prélèvement sur la part du premier, et l'abbaye de Lorroy 400 arpents également au nord-ouest⁴⁰. Cette proportion se maintiendra au xvii^e siècle, avec cependant une augmentation des superficies : la part de l'archevêché est passée à 900 ha et celle du chapitre à 330 ha. Plusieurs procès-verbaux du xvii^e siècle précisent que cette forêt de 5 000 à 6 000 arpents, soit 2 500 ha, ne possédait pas de taillis et qu'il s'agissait de « boysfutaies bien planté en chesnes et haitres de l'aage de 200 à 300 ans⁴¹ [...] comme étant d'un temps immémorial en haulte futaye⁴² ». Nous avons donc lieu de penser qu'au Moyen Âge cette forêt était déjà en futaie de chêne pour la production de bois d'œuvre puisqu'à l'époque moderne, la plupart des chênaies sont fortement dégradées et exploitées en taillis ou taillis-sous-futaie pour les besoins des industries et du chauffage domestique.

Cette forêt éponyme du neuvième évêque de Bourges, bâtisseur de la seconde basilique au iv^e siècle d'après la tradition⁴³, devait être une propriété de haute date de l'église de Bourges. Située à proximité de la ville et accessible seulement par voie terrestre, elle pouvait donc convenir à l'approvisionnement du chantier au xiii^e siècle du fait de sa gestion très probable en futaie de bois d'œuvre et aussi en raison de la qualité de ses chênes. En effet, la chênaie de Saint-Palais est aujourd'hui une forêt domaniale de chênaies-hêtraies de plus de 2 000 ha gérée par l'ONF et réputée pour la production de bois de qualité à grain fin pour la merranderie. Sa réputation la classe parmi les meilleures chênaies de France.

On note qu'il n'existe pas, entre cette futaie et Bourges, de rivière au tirant d'eau suffisant pour un transport des grumes par flottage, comme auraient pu le suggérer certains trous de chevilles relevés sur les bois du chœur. Les bois ont donc été transportés par charroi depuis cette forêt.

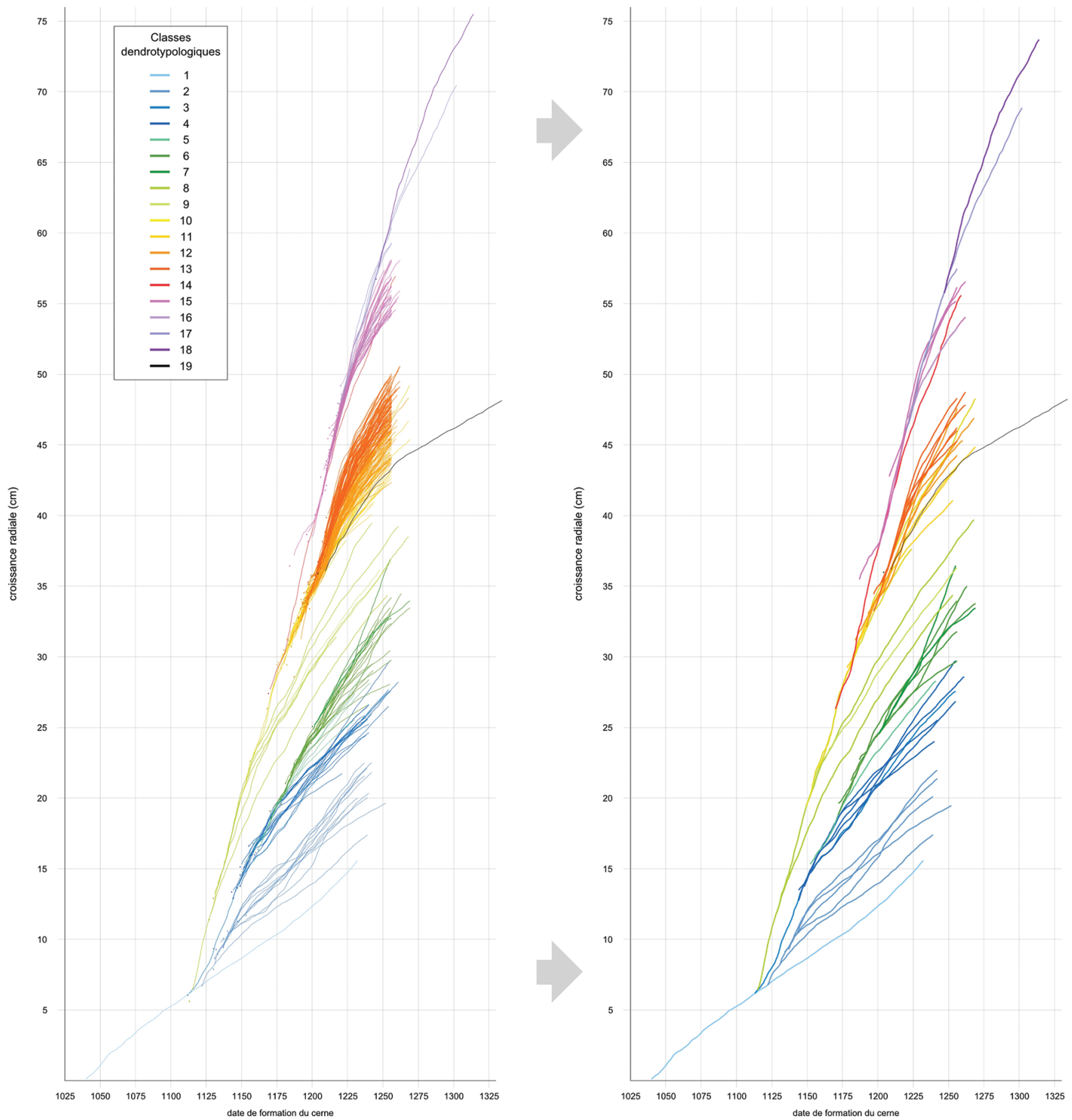
Les modalités de prélèvement en forêt (coupe à blanc, furetage)

Les arbres abattus entre 1230 et 1256 pour la mise en œuvre de la charpente de la nef en 1256 ont été sélectionnés sur la base de leur diamètre et la hauteur de leur fût (Types 1 à 3). La majorité d'entre eux (94 %) sont tous identiques morphologiquement avec un fût très fin

et élancé (Type 1). Cette standardisation se retrouve dans les mêmes proportions dans des prélèvements destinés à la mise en œuvre de la charpente du chœur en 1257, avec toujours une majorité de bois fins (Type 1 à 94,5 %) ayant des diamètres légèrement plus larges que précédemment.

Concernant les arbres de Type 1 de la nef⁴⁴, abattus lors de 17 coupes réparties sur 25 ans (1230-1255), leur sélection, selon des mesures standards, en diamètre et en hauteur de fût, a vraisemblablement conditionné les approvisionnements dans des parcelles forestières qui présentaient précisément ce type d'arbre. Il est donc probable qu'à chaque campagne d'abatage les prélèvements se soient faits dans une futaie répondant précisément à ces besoins. Contrairement aux bois de Types 2 et 3, aux caractéristiques dendrométriques bien différentes et dont les effectifs sont très limités, les bois de Type 1 représentent pour chaque coupe un lot important d'arbres identiques qui suppose un prélèvement massif dans une parcelle forestière, et non des sélections individuelles par furetage. L'étude des profils de croissance de ces bois semble le confirmer comme le montre le regroupement des séries des échantillons dendrochronologiques en 19 classes dendrotypologiques distinctes qui représentent différents sylvo-faciès⁴⁵ et s'apparentent à des campagnes d'abatage (fig. II-30 et II-31). Les premiers abatages des années 1230-1239 se concentrent sur des arbres mûrs ou âgés (80 à 120 ans) et de croissance moyenne à lente (0,9 à 1,5 mm⁴⁶) (fig. II-23). Les coupes des automnes-hivers 1240-1241 et 1242-1243 se diversifient par l'intégration de plus jeunes arbres (40-70 ans) à croissance rapide (1,5 à 3 mm). Et à partir du printemps 1243 jusqu'aux dernières coupes en 1263 ne sont plus abattus que des arbres jeunes à croissance rapide, liés probablement à un régime de taillis⁴⁷. Pour chacune de ces périodes de coupes, et toujours concernant les bois de Type 1, on observe donc des coupes dans des peuplements forestiers distincts où les arbres ont des âges et des croissances qui leur sont propres mais dont les fûts sont toujours semblables en diamètre, diamètre et hauteur. Pour l'approvisionnement de la majorité des bois de la nef, les premières coupes des années 1230-1239 s'effectuent donc dans des futaies régulières et âgées et passent progressivement dans les années 1240-1243 à des peuplements de taillis régénérés sur souche. Après 1243 et jusqu'aux derniers abatages, les abatages ne se feront plus que dans ce type de peuplement. Les volumes de bois prélevés à chaque abatage de la nef ne permettent pas d'envisager des coupes rases à l'échelle d'un peuplement entier, sinon peut-être pour ceux des années 1240-1243 et 1254-1255 où la quantité d'arbres abattus est proportionnellement la plus importante, d'après l'échantillonnage. Cependant, vu d'une part la hauteur et la finesse des arbres abattus, et d'autre part la densité des peuplements envisagés, il apparaît que l'abatage de ces bois n'a pu se faire individuellement au sein du massif, mais plutôt par une coupe de surface plus ou moins grande selon la coupe. En effet, le dégagement d'une futaie lors d'une coupe rase facilite l'abatage des arbres et leur chute sans risque d'endommager leur fût ni celui des arbres restants. Elle favorise aussi le dégagement des grumes et leur débardage, tout en limitant les opérations de recherche et de charroi, surtout dans une forêt dépourvue de parcellaire et de routes praticables.

A contrario, la majorité des bois du chœur (Type 1), abattus en automne-hiver 1256-1257, représente un volume de bois tout à fait considérable (470 chênes au moins⁴⁸). La similarité physiologique de ces bois et leur grand nombre réunis en une seule saison ne laissent guère de doute sur l'éventualité d'une vaste coupe rase au sein d'un peuplement homogène (fig. II-33). Là



a) Courbes individuelles des pièces de bois archéologiques

b) Courbes moyennes des groupes dendrotypologiques

Fig. II-30 > Assemblage des courbes de croissance cumulée. [Dendrotech 2015.]

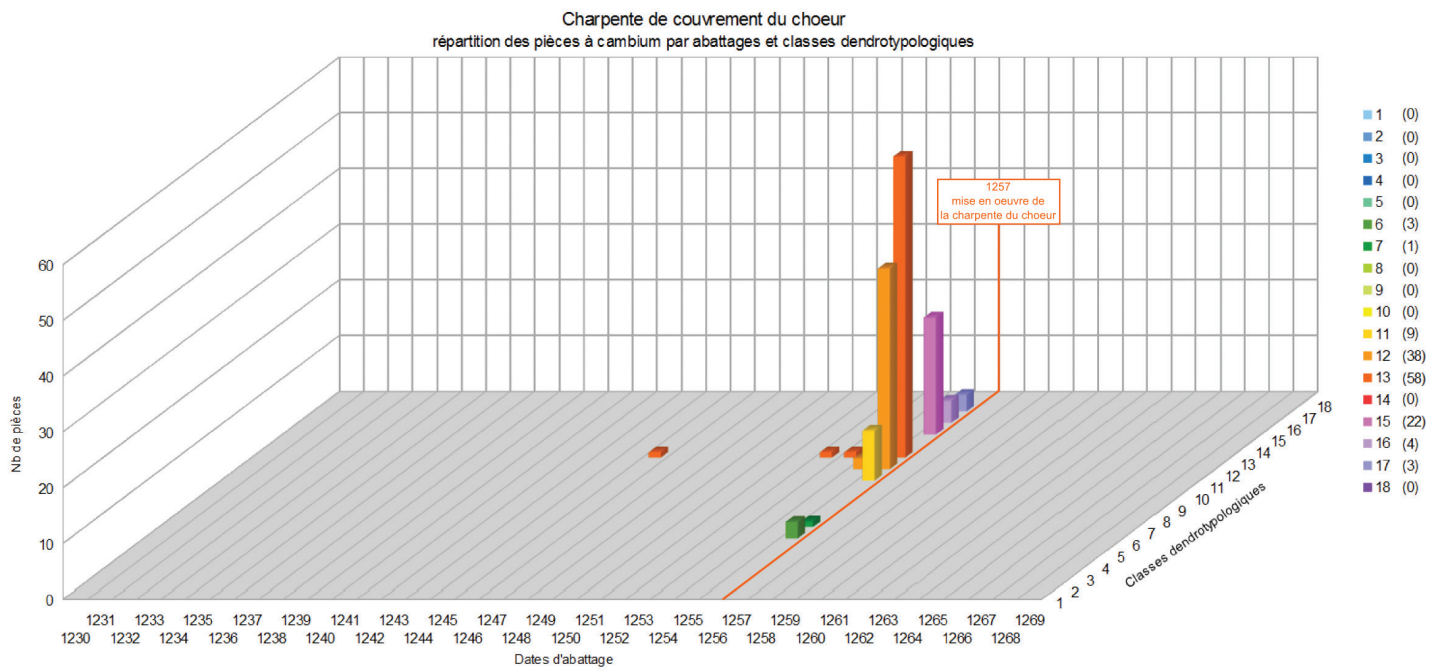
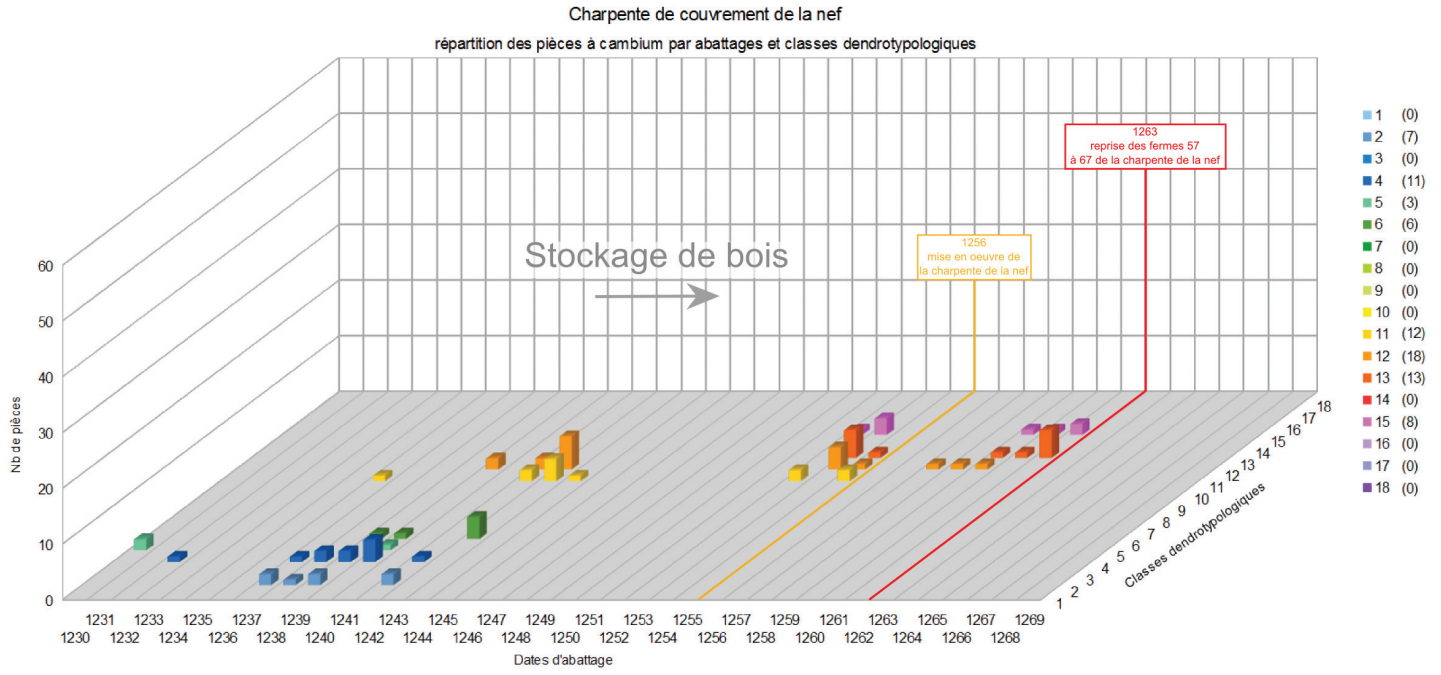


Fig. II-31 > Répartition des bois par dates d'abattage et classes dendrotypologiques. [Dendrotech 2015.]



Fig. II-32 > Tendances de croissance des bois du cœur, abattus en automne-hiver 1256-1257. [Dendrotech 2015.]



Fig. II-33 > Coupe rase en forêt de Saint-Palais (Cher).

plus encore, les questions d'ordre logistique liées à l'abattage, au débardage et au transport de plusieurs centaines de grumes justifient la coupe de surface sur une vaste partie du peuplement.

Attesté à Tours pour l'approvisionnement du chantier de la cathédrale en 1243 et 1279⁴⁹, ce type de coupe rase suppose l'abattage de tous les bois situés sur la parcelle, en laissant toutefois des semenciers ou baliveaux⁵⁰ servant à régénérer la parcelle. Dans le cas d'une gestion en régime de taillis, où la régénération sur souche est privilégiée, la conservation de semenciers n'est pas nécessaire. Les bois devaient par contre être coupés « pres et raz de terre », comme il est stipulé dans certains actes de ventes médiévaux en Touraine⁵¹, afin de favoriser les rejets de souche.

Concernant les plus gros bois (Types 2 et 3) qui représentent seulement 6 % des effectifs et qui sont destinés aux poinçons et aux entrails, ceux-ci se distinguent des bois précédents (Type 1) par leur diamètre et leur âge mais aussi par d'autres critères. Pour ceux de la nef, le défilement est nettement différent (fig. II-20), témoignant d'un milieu plus densément peuplé pour les bois de Type 2 et moins contraint pour ceux de Type 3. Deux d'entre eux (E26 et E46) ont des croissances bien plus rapides témoignant d'un peuplement bien plus ouvert. Ceux du chœur se démarquent des autres essentiellement par des croissances plus faibles (fig. II-22). Ainsi, que ce soit pour les abattages des bois de la nef comme pour ceux du chœur, ces gros bois appartiennent à des faciès sylvicoles différents qui supposent un prélèvement par furetage. Ce mode d'approvisionnement permet de sélectionner isolément dans des peuplements divers, parfois éloignés, les sujets qui correspondent précisément aux besoins des charpentiers. Les difficultés inhérentes au charroi et à l'abattage de très longs bois isolés au sein de futaies densément peuplées, comme c'est le cas pour ces arbres de Types 2 et 3, expliquent que ces modalités de prélèvement par furetage sont limitées à de très faibles effectifs, comme on le constate aussi dans de nombreuses autres charpentes des XIII^e-XIII^e siècles⁵².

Le type de futaie exploitée

Des peuplements purs

Une analyse macroscopique et microscopique de la structure du bois a été réalisée par le laboratoire EFC Lab⁵³ sur la totalité des échantillons prélevés dans les charpentes du XIII^e siècle du chœur, de la nef et du beffroi, en complément des précédentes analyses dendrochronologiques. Ce travail visait à identifier, entre autres, les différentes essences de chêne utilisées dans ces charpentes, pour indirectement avoir des informations sur les peuplements forestiers exploités. En effet, les chênes appartiennent à la famille des Fagacées et plus particulièrement au genre *Quercus* représenté par plus de 600 espèces d'arbres, dont seules 8 se rencontrent sur le territoire français. En France septentrionale, les chênaies sont constituées principalement de peuplements mixtes de *Quercus sessiliflora* ou *Quercus petraea* (chêne rouvre ou sessile) et de *Quercus pedunculata* ou *Quercus robur* (chêne pédonculé) selon les conditions écologiques de la station, la nature du sol, l'humidité.

À l'issue de ces analyses, il est apparu que la totalité des bois de la nef et du chœur sont des chênes sessiles, *Quercus sessiliflora*, à l'exception d'un bois, l'entrait retroussé de la ferme 141,

qui est un chêne pédonculé. Les bois de Type 1 (94 % des bois) comme ceux utilisés pour les entrails et les poinçons sont donc tous de la même essence. Les chênaies qui ont servi à l'approvisionnement de ces chantiers étaient donc des peuplements purs de chênes sessiles.

Les chênes sessiles tout comme les chênes pédonculés peuvent constituer des peuplements purs là où leurs airs ne se recouvrent pas ou, dans le cas contraire, là où les conditions stationnelles ne conviennent bien qu'à l'un ou à l'autre. Dans les stations où les deux espèces peuvent se développer, il est fréquent de les trouver dans une même parcelle, où de petites variations de la topographie, du sol, de l'approvisionnement en eau suffisent pour favoriser l'une plutôt que l'autre, la transition pouvant se faire en quelques dizaines de mètres seulement. De plus, il est très fréquent de trouver en forêt des arbres hybrides aux caractères morphologiques intermédiaires entre ceux du chêne sessile et du chêne pédonculé⁵⁴. Ainsi, une telle concentration de chênes sessiles dans un approvisionnement de 1 200 arbres environ confirmerait un approvisionnement massif par coupe blanche dans un peuplement homogène monospécifique bien délimité. Les bois utilisés pour les entrails et les poinçons (Types 2 et 3) qui, comme nous l'avons vu précédemment, ont dû être prélevés dans des stations au faciès légèrement différent, pourraient néanmoins provenir de parcelles relativement proches de ce peuplement pur.

D'un point de vue écologique, le chêne sessile tolère particulièrement bien la concurrence entre les arbres ainsi que l'ombrage comparé au pédonculé, ce qui le rend prédominant suite aux régénérations par coupe blanche où la forte compétition peut être déterminante lors de la sélection naturelle des rejets (auto-mortalité). Le chêne sessile convient donc à des futaies densément peuplées. Il supporte aussi des conditions plus contraignantes propres aux plateaux (sols acides, peu profonds, secs) contrairement au pédonculé qui préfère les sols humides et épais de fond de vallée. Le bois d'œuvre entre ces deux essences semble toutefois présenter les mêmes caractéristiques.

Il n'est pas inintéressant d'observer que topographiquement la forêt de Saint-Palais présente une déclivité régulière du terrain qui descend au nord-ouest vers un vallon humide baigné de ruisseaux et d'étangs. Les secteurs qui pourraient écologiquement être favorables à des peuplements purs de chênes sessiles devraient logiquement se situer au sud-ouest de la forêt.

On note aujourd'hui que les massifs forestiers les plus renommés pour la qualité de leur bois sont constitués de chênes sessiles, seuls ou avec le pédonculé, comme les forêts de Tronçais et Moladier (Allier), Blois, Boulogne, Russy (Loir-et-Cher), Bellême, Réno-Valdieu, Perseigne (Orne), Bercé (Sarthe).

Les données dendrométriques

Les chênes destinés à 94 % des bois de la charpente de la nef et du chœur sont des arbres au fût de faible diamètre, fin, au profil très élancé et régulier sur une grande hauteur, avec peu de branches et un houppier déployé qu'à la cime. Ces arbres sont majoritairement jeunes ou très jeunes, de moins de 60 ans, avec une forte croissance radiale (croissance moyenne de 2,1 mm) pour un faible diamètre (23-28 cm) et une grande hauteur de fût (14 m minimum) qui suppose

Fig. II-34 > Futaie densément peuplée, forêt de Saint-Palais (Cher). Cette parcelle a connu toutefois plusieurs coupes d'éclaircie et sa densité est bien inférieure à celle des futaies exploitées au XIII^e siècle pour les charpentes de la cathédrale.

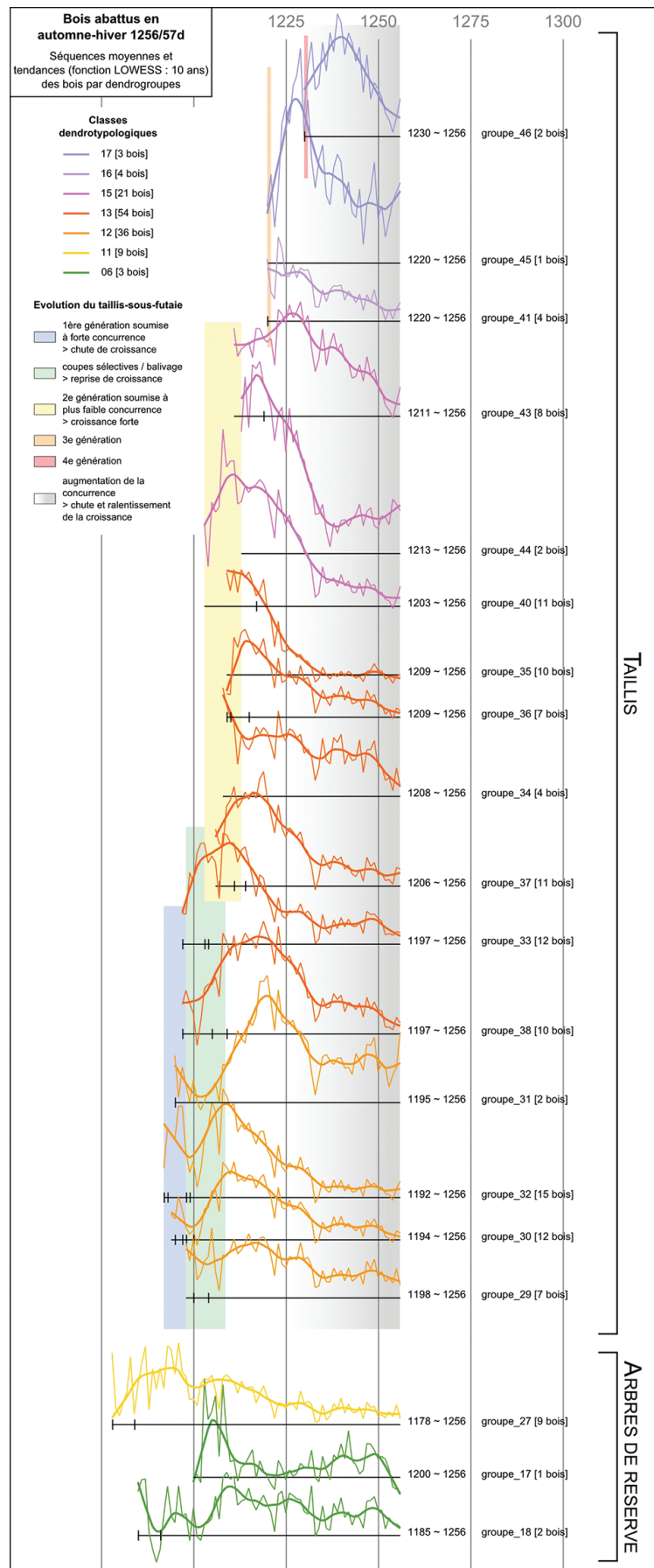
une hauteur totale de l'arbre de 20-25 m. Leur faible défilement (1,6-2,5 cm/m), comparé aux autres données dendrométriques (diamètre, âge), témoigne d'une compression maximale du milieu et d'une très forte densité du peuplement forestier d'après les tables officielles établies pour le chêne⁵⁵.

Ces arbres proviennent donc de futaies où la densité du peuplement est maximale et où la forte mise en concurrence entre les sujets les a contraints à croître rapidement en hauteur vers la lumière et non en épaisseur, d'où leur très fort élancement, leur faible diamètre et un houppier comprimé (fig. II-34).

Toutefois, cette forte densité du peuplement ne suffit pas à expliquer les fortes croissances radiales et la jeunesse de ces arbres.

Comparaison avec les futaies actuelles

La création de l'École forestière de Nancy en 1824 et, sous son impulsion, l'émergence d'une véritable sylviculture ont imposé à l'ensemble des forêts domaniales la pratique de la futaie régulière à régénération naturelle par semis, avec coupes d'éclaircies périodiques. Cette conversion fut facilitée au cours du XIX^e siècle par une forte diminution de la consommation de bois taillis du fait de l'utilisation progressive de la houille par les industries et le chauffage, et surtout par la disparition des droits d'usage. Il a fallu toutefois près d'un siècle d'expérimentation et de codification des méthodes pour que ce modèle de la futaie régulière s'impose dans les forêts de l'État avant de s'appliquer aux



forêts communales et partiellement aux forêts privées. Actuellement, la plupart des futaies régulières de chênes sont traitées en sylviculture « dynamique », avec des coupes d'éclaircies périodiques destinées à réduire la densité du peuplement, à limiter la concurrence entre les tiges pour que les arbres restants, dits « d'avenir », gagnent en diamètre et en volume tout en gardant des croissances radiales régulières (cernes constants inférieurs à 2 mm type « grain fin »). Cette sylviculture nécessite un personnel forestier travaillant sur le long terme à la gestion des peuplements. Même les plus anciennes futaies de chênes héritées de la grande réformation des forêts royales de Colbert en 1661 ont été converties à ces cycles d'éclaircissements afin de favoriser le développement des gros bois.

D'après des peuplements témoins en forêts de Blois et du Tronçais, non loin de Bourges, en futaie gérée en sylviculture dynamique, que ce soit en éclaircies fortes ou faibles, un chêne de 55-60 ans présente un fût de 19-23 cm de diamètre pour une hauteur totale de l'arbre de 16-19 m (fût inférieur à 13 m), avec une fertilité normale du sol et une densité de peuplement très élevée⁵⁶. En forêt de Bercé (Sarthe), avec peu d'éclaircie, les chênes présentent les mêmes caractéristiques avec des fûts de plus faible diamètre et de moindre hauteur que ceux du XIII^e siècle de la cathédrale de Bourges.

En sylviculture très dynamique, avec des cycles d'éclaircies très courts, des chênes de même âge ayant connu entre quatre et sept éclaircies dépassent les diamètres recherchés avec 34-37 cm et ne dépassent pas des hauteurs totales de 19 m, avec des largeurs de houppier de 10 m⁵⁷. Là aussi, les caractéristiques ne correspondent pas.

Pour les placettes n'ayant connu aucune éclaircie (station témoin de Sablonnières, forêt de Blois), excepté un léger dépressage avant le début de l'expérimentation⁵⁸, évoluant donc à une densité proche du maximum biologique du chêne sessile et avec des phénomènes d'auto-éclaircies naturelles, des chênes de 55-60 ans atteignent 18-20 cm de diamètre pour une hauteur totale de 16-17 m, houppier compris, ce qui donne une longueur de fût inférieure à 12 m⁵⁹ avec des diamètres bien inférieurs à ceux de Bourges.

Ces modes de gestion sylvicole ne permettent donc pas d'obtenir des chênes avec des rapports âge/diamètre/hauteur de fût correspondant à ceux des bois du XIII^e siècle de la cathédrale. Ces sylvicultures dynamiques assurent en outre une croissance toujours régulière des cernes qui tranche avec celle des bois de Bourges caractérisée en grande majorité par une forte croissance radiale dans les 15-20 premières années puis par un ralentissement drastringue traduisant une compression progressive du milieu et l'absence d'éclaircie⁶⁰.

Les chênes de Bourges sont donc éloignés des modèles sylvicoles basés sur la régénération naturelle par semis et sur le principe des éclaircies, destinés à la production de bois épais et non à celle de bois longs et fins. Ils s'inscrivent donc dans un schéma d'exploitation pour lequel nous ne possédons pas de comparatif contemporain et qui semble se définir par un peuplement dense maintenu très serré, n'ayant connu vraisemblablement aucune coupe d'éclaircie, et par des modalités de régénération que l'étude des croissances radiales permet de caractériser.

Les données dendrotypologiques⁶¹

Le classement des bois selon leur profil de croissance a permis de définir 19 classes dendrotypologiques (fig. II-30 et II-31). Les arbres abattus en automne-hiver 1256-1257 pour la charpente du chœur, en grande partie associés aux classes 12, 13 et 15, forment un ensemble particulièrement cohérent et statistiquement intéressant pour une analyse plus détaillée (fig. II-32). Les groupes constitués des individus les plus anciens (n^{os} 29-33 et 38) présentent quasiment tous une tendance décroissante en début de vie qui pourrait indiquer qu'il s'agit soit de jeunes semis en concurrence avec les autres individus du sous-étage forestier, soit, plus vraisemblablement, de rejets de souche issus d'un taillis déjà dense et en compétition avec d'autres rejets. La tendance de croissance s'inverse aux alentours de 1200, sûrement à l'occasion d'une coupe. Les arbres atteignent leur croissance maximale 15 à 25 ans après le début de leur pousse, bénéficiant de l'ouverture ainsi opérée. À ce même moment apparaît une deuxième génération de tiges (groupes n^{os} 34-37, 40 et 43-44) qui, dans tous les cas, sont vraisemblablement des rejets sur souche. La croissance de ces derniers est toujours maximale dans les quinze premières années puis ralentit drastiquement sous l'effet d'une concurrence toujours plus forte. Ce ralentissement est présent sur la quasi-totalité des bois dont les tendances se stabilisent à partir du début des années 1230 où naissent alors de nouveaux rejets (groupe n^o 46). L'évolution spécifique de ce peuplement pourrait donc aussi bien évoquer la conversion d'un peuplement en futaie sur souche que l'entretien d'une futaie sur souche déjà ancienne.

Une futaie sur souche à forte densité?

L'hypothèse de futaies régénérées selon le régime du taillis, par rejet de souche (reproduction végétative), et non par semis naturel (reproduction sexuée), apparaît comme la plus probable. Les fortes croissances radiales mesurées sur les bois du chœur et aussi sur ceux de la nef abattus surtout après 1243 correspondraient à des peuplements issus de taillis, de la reproduction végétative de souches. En effet, le rejet bénéficie des apports nourriciers de la souche porteuse qui lui assurent une croissance juvénile supérieure à celle d'un semis. Le taillis atteint donc sa maturité plus rapidement qu'un peuplement issu d'un semis naturel. De ce fait, les tiges s'élancent plus vite en hauteur et ont tendance à dépasser les semis de même âge et à les étouffer sous leur pression. Les croissances des rejets de souches se caractérisent donc par une vigueur végétative durant vingt à trente ans avec de fortes croissances radiales, puis par un ralentissement rapide qui est lié, d'une part, à la formation d'un système racinaire indépendant de la souche mère et, d'autre part, à la mise en concurrence des tiges entre elles. Ils sont donc non seulement capables de fournir un fût adulte et viable, mais ils bénéficient aussi d'un rythme de croissance supérieur à celui d'un brin issu de germination. Ces modes de croissance correspondent donc précisément aux profils dendrotypologiques de la plupart des bois du XIII^e siècle de Bourges (Type 1).

Outre ces modes de régénération en régime de taillis, les mesures dendrométriques ont montré que les bois abattus pour la nef et le chœur sont issus de futaies très densément peuplées, parfois au maximum des capacités biologiques du chêne (fig. II-34). Les jeunes tiges, bénéficiant d'une vigoureuse capacité de croissance juvénile grâce aux souches porteuses, et soumises à



Fig. II-35 > Jeune futaie sur souche, forêt de Bercé (Sarthe).

une très forte compression du milieu, peuvent ainsi présenter à 50-60 ans des fûts très élancés, fins et réguliers, dépassant les 14 m de hauteur exploitable. Il apparaît donc que l'essentiel des bois abattus pour les charpentes de la nef et du chœur provient de jeunes futaies très densément peuplées et qui furent régénérées sur souche, selon le régime du taillis (fig. II-35).

La bonne qualité et fertilité des sols est aussi à prendre en considération pour expliquer ces croissances hors norme. La forêt de Saint-Palais est classée justement parmi les meilleures chênaies de France avec des sols qui assurent la production de bois de qualité pour la merranderie.

La régénération d'une futaie en taillis

Pour permettre une bonne régénération par rejet de souche, l'abattage doit se pratiquer hors sève, pendant la période d'arrêt de végétation en automne-hiver car les rejets issus d'une coupe en été ne sont pas assez vigoureux pour résister aux froids hivernaux et leur hauteur est bien plus faible que ceux issus d'une coupe en hiver⁶². La coupe doit aussi s'effectuer au plus près du sol car elle permet de dynamiser la repousse, de favoriser l'affranchissement des rejets, d'éviter l'épuisement de la souche⁶³ et facilite aussi le débardage. L'abattage à la cognée suppose donc un angle d'attaque au plus près du sol. La scie était proscrite pour cet usage, encore au XVII^e siècle où elle est accusée d'anémier la souche⁶⁴.

Dans les textes, il est difficile de savoir si cette technique de régénération sur souche se pratiquait pour les futaies, faute de mention explicite. Pourtant, tous les actes de ventes mentionnant les coupes de bois au Moyen Âge sont unanimes et recommandent, dès le XIV^e siècle, de couper le bois « pres et raz de terre » afin de faciliter le rejet⁶⁵. En 1584, la coutume de Touraine rappelle qu'il faut couper « par le pied à raz de terre [...] afin que le pied des souches puisse en rejeter⁶⁶ ». Si ces mentions sont récurrentes dans les textes, il reste toutefois difficile de savoir si elles s'appliquent au taillis ou aux futaies.

Aux XVII^e-XVIII^e siècles, de nombreuses futaies sur souche étaient exploitées selon le principe du recépage⁶⁷ : les rejets nés de la coupe de futaie étaient recépés à 25-30 ans pour le taillis, donnant naissance à de nouveaux recrues qui étaient coupés vers 100 ans⁶⁸. Ce recépage du taillis pouvait aussi se limiter à de simples nettoiemnts ou à un dépressage en ne coupant que les morts-bois, les bois blancs et les perches surabondantes du taillis tout en maintenant le peuplement dense (« recépage ordinaire »), comme cela se pratiquait au Moyen Âge avec les *expurgades*. L'exploitation à tire et aire imposée par l'Ordonnance de 1669 reposait exclusivement sur la capacité des feuillus à rejeter et dont seul l'abattage au plus près du sol à la cognée garantissait le renouveau du peuplement sans que l'homme n'ait eu à agir entre chaque coupe⁶⁹. Les vieilles futaies domaniales (Reno-Valdieu, Perche, Bercé, Perseigne, Tronçais...) issues des réformes de Colbert ont ainsi été régénérées par rejet de souche⁷⁰.

Les facultés régénératives des souches de chênes permettent de mieux comprendre la gestion de ces taillis. En effet, le chêne a une grande capacité à rejeter de souche jusqu'à soixante ans, c'est-à-dire jusqu'à l'âge où il commence à fructifier. Au-delà de cet âge, le pouvoir de régénération des souches décroît rapidement⁷¹. Il est dès lors intéressant de constater que la majorité des bois de la cathédrale furent abattus avant cet âge, notamment ceux du chœur à l'issue d'une coupe à blanc qui suggère que ce peuplement aurait très bien pu avoir été régénéré en taillis par la suite.

La très forte croissance juvénile des rejets de souche au sein d'un taillis exclut la possibilité d'un semis par régénération naturelle (glands issus des bois de réserve) pour combler les vides dans le peuplement. En effet, dans les taillis de chêne, les semis qui peuvent s'installer disparaissent tous dans les premières années, étouffés par les rejets qui les dépassent rapidement. Le régime du taillis de chêne est donc exclusif et ne tolère aucun semis. Ceci permet donc d'expliquer l'homogénéité de la majorité des bois de la cathédrale, plus particulièrement ceux du chœur abattus en grand nombre en une saison, qui suppose des peuplements réguliers et homogènes, issus d'un même mode de régénération.

Entre les premiers abattages en 1230 et les derniers en 1263, on observe une nette évolution des futaies exploitées pour l'approvisionnement du chantier, notamment pour les bois de Type 1 (fig. II-23 et II-30). Pour les coupes réalisées de 1230 à 1239, les arbres sont d'âge mûr, à croissance lente (0,9 à 1,5 mm). De 1240 à 1242, on voit de plus en plus d'arbres jeunes à croissance rapide, qui vont devenir quasiment exclusifs après 1243. Il serait tentant de voir dans la standardisation des arbres abattus de Type 1 et l'évolution de leur profil de croissance, le passage de l'exploitation occasionnelle d'une ou plusieurs futaies régulières dans les années 1230 à la systématisation progressive des abattages dans des taillis dès les années 1240 et jusqu'au début des années 1260⁷². Quelle en est la raison ? Est-ce un rajeunissement généralisé des peuplements

forestiers par la pratique préférentielle du taillis à destination de bois d'œuvre de qualité à la fin du XII^e siècle, au détriment des vieilles futaies ? Sont-ce des abattages sur des parcelles sélectionnées et spécialisées dans la production de ce type d'arbres ?

Mise en protection des taillis: les enclos

Les taillis de chênes destinés à devenir des futaies denses ne devaient demander aucun entretien. Leur développement ne nécessitait aucune gestion particulière des rejets, aucune coupe d'éclaircie, dépressage, détourage ou balivage, contrairement à ce qui se pratique en sylviculture dynamique depuis le XIX^e siècle où les éclaircies sont régulières. Le peuplement s'auto-régulait avec une diminution importante du nombre de tiges par souche dans les premières années⁷³ du fait de la forte compétition et de la mortalité naturelle des tiges dominées (auto-éclaircie). Après la régénération d'un peuplement dense par coupe rase, la parcelle devait donc être laissée en auto-régulation sans intervention humaine pour obtenir à nouveau une futaie sur souche à forte densité.

Les textes se rapportant aux forêts de Touraine au Moyen Âge ne mentionnent en effet dans les futaies aucune coupe d'éclaircie, d'amélioration ou de dépressage, confirmant ainsi l'absence d'entretien des taillis et leur propension à se développer en futaies denses⁷⁴. Aucun personnel n'existait d'ailleurs au sein des seigneuries pour effectuer ce travail périodiquement sur le long terme. Les seuls prélèvements qui auraient pu exister dans ces futaies étaient des *nettoiements* ou *expurgades* qui consistaient à prélever le bois mort et le mort-bois⁷⁵ dans le cadre des droits d'usage lorsque ceux-ci n'étaient pas tout simplement interdits sur ces parcelles, habituellement *mises en defens* après une coupe. Ces prélèvements n'ont de toute façon aucun intérêt sylvicole pour les rejets et servent uniquement aux usagers pour leurs besoins.

Encore à l'époque moderne, les réserves des forêts royales et ecclésiastiques étaient des futaies pleines où aucun dépressage ni coupe d'amélioration ne se pratiquaient⁷⁶. Comme le rappelle A. Corvol, les peuplements forestiers qui étaient composés aux XVII^e-XVIII^e siècles essentiellement de taillis et taillis-sous-futaies étaient exploités uniquement lors de l'abattage et de la vidange, en préservant au mieux la capacité de rejeter des souches, puisqu'aucune autre intervention humaine ne se faisait alors⁷⁷.

Au XIII^e siècle, à l'issue d'une coupe rase, la régénération du taillis par rejet de souche devait cependant être protégée du bétail et de la faune sauvage (cervidés, sangliers). La forêt médiévale était en effet largement exploitée pour l'élevage domestique du porc⁷⁸, du bœuf, du mouton, de la chèvre, ce qui représentait une menace certaine pour les rejets des parcelles en régénération. D'après les textes, l'interdiction du pâturage sur une coupe semble être une constante au moins à partir du XIII^e siècle en Touraine⁷⁹. En France, le temps de cette interdiction varie de deux à cinq ans après la coupe⁸⁰ pour permettre cette régénération, sauf exception comme en Normandie au XIV^e siècle où elle atteint douze à quinze ans⁸¹. La *mise en defens* des jeunes taillis s'accompagne aussi d'une suspension des autres droits des usagers sur la parcelle et de la mise en place d'une clôture physique par la création de talus, de fossés et de plantations de haies. Au XIII^e siècle en Touraine, la création de fossés autour des coupes semble aller de

soi comme encore au xv^e siècle où les textes recommandent même les dimensions des fossés en largeur et profondeur⁸². L'ordonnance royale de Melun de 1376 stipule que les marchands doivent clore les coupes et celles des bois de marine pour les forêts normandes la même année et précise qu'une clôture doit être installée avant la coupe, pour éviter que l'on coupe trop, et ensuite laissée pour permettre la régénération. Sur les talus, des haies étaient créées comme le relate un acte de vente de 1498: « feront lesdits acheteurs les hayes de pau, perche, espinnes et autre bois autour de ladite monstree [coupe] en manière que les bestes ny puissent passer comme il appartient à bonnes tailles sans fere dommage audit reject⁸³ ».

Ces enclos s'observent encore aujourd'hui dans certaines forêts, dans des états de conservations assez variables, le plus souvent très arasés et visibles uniquement au Lidar⁸⁴. Dans la forêt de Bercé (Sarthe), les nombreux enclos fossoyés et talutés, bien conservés, de formes polygonales fermées de 1,3 à 2,7 ha de superficie⁸⁵, pourraient correspondre à ces *misés en defens* de parcelles en régénération (fig. II-36). L'absence d'entrée de ces enclos, la dimension des fossés/talus, leur superficie et leur dispersion au sein du massif forestier conviennent aux données textuelles connues au Moyen Âge pour une mise en protection d'une coupe en régénération.



Fig. II-36 > À gauche, carte des enclos en forêt de Bercé (Sarthe) et à droite relevé d'un des enclos. [Noël 2007, p. 116 et 150.]

La surface forestière sollicitée

D'après les estimations avancées précédemment, la consommation en bois d'œuvre pour la construction de la charpente du grand vaisseau de la cathédrale a nécessité l'abattage d'environ 1 170 chênes. Sur cette quantité, à peu près 500 proviennent de la coupe rase d'une unique parcelle⁸⁶ en 1256 pour la charpente du chœur, le reste étant issu de nombreuses coupes de peuplements distincts, étalées sur 25 ans. Quelles que soient ces coupes, ces arbres étaient issus de futaies sur souche, homogènes, n'ayant connu aucune éclaircie et dont la densité du peuplement était maximale.

Nous ne connaissons malheureusement aucun témoin de ce type de peuplement qui aurait pu faire l'objet d'un suivi. Seules des populations issues d'une régénération naturelle par semis permettent d'établir des comparaisons. Ainsi, des peuplements témoins de chênaies en secteur ligérien, n'ayant connu aucune intervention humaine excepté le nettoyage des bois morts naturellement, présentent une densité de 1 700 tiges/ha à 60 ans contre, à titre d'exemple, 1 200 tiges/ha au même âge pour un peuplement ayant connu peu d'éclaircies, toujours en secteur ligérien⁸⁷. Cette densité correspond pour ce type de chênaie au maximum biologique tolérable où seule la mortalité naturelle régule le peuplement. L'hyperdensité des futaies sur souche exploitées au XIII^e siècle pourrait peut-être s'assimiler à celle-ci.

Dans le cas d'une coupe à blanc, tous les arbres abattus ne correspondent pas aux besoins des charpentiers, même s'il s'agit de peuplements homogènes. Seuls les bois les plus droits et de bonne section sont conservés. Les bois inappropriés peuvent toutefois convenir pour les pièces courtes et pour les échafaudages ou les lattes. Là encore, il est difficile d'estimer la proportion de bois utiles pour les peuplements en question et il est donc nécessaire de surévaluer les besoins pour tenir compte de ces pertes, avec un rendement de 1 sur 4.

En prenant en compte ces marges d'incertitudes, tant sur la quantité de bois utiles que sur la densité des futaies sur souche, on peut donc estimer qu'une coupe à blanc de 1,5 ha d'une futaie sur souche dense suffirait pour approvisionner le chantier du chœur et réunir les 500 chênes nécessaires à l'exécution de sa charpente. Cette surface représente 3,6 arpents médiévaux⁸⁸, ce qui paraît en définitive très peu. Rappelons toutefois que pour la construction des charpentes de la cathédrale de Tours en 1243, le roi de France fit un don de seulement deux arpents de la forêt de Chinon⁸⁹, ce qui peut correspondre néanmoins à une très grande quantité de bois d'œuvre selon la qualité et la densité du peuplement. Cette superficie coïncide par ailleurs avec celle des enclos relevés en forêt de Bercé, dont la destination semble liée à la régénération de futaies sur souche.

Même si les bois des charpentes de la nef et du chœur proviennent vraisemblablement de peuplements et donc de parcelles distinctes, l'abattage des 1 170 chênes correspond à une coupe de presque 3 hectares seulement, soit un carré de 173 m de côté, d'une futaie sur souche de forte densité, telle qu'elle a été définie précédemment. On est donc très loin des idées reçues sur l'épuisement des forêts médiévales liées aux constructions des cathédrales.

Une « sylviculture » adaptée aux charpentes gothiques

Les forêts exploitées au XIII^e siècle pour le chantier de la cathédrale de Bourges se caractérisent par des hautes futaies sur souche aux peuplements hyperdenses. Leur régénération par recépage aurait bénéficié d'une *mise en defens* matérialisée probablement par un enclos afin de protéger les rejets du pastoralisme, des animaux sauvages et des prélèvements liés aux droits coutumiers⁹⁰. Dès lors, la futaie aurait été laissée en auto-régulation sans aucune intervention humaine.

Il est donc impropre de parler de « sylviculture » comme on l'évoque aujourd'hui pour la gestion des forêts domaniales où les peuplements bénéficient de nombreux aménagements mécanisés tout au long de leur croissance (cloisonnements culturels, dépressage, élagage, façonnage, coupes d'éclaircies tous les 8-12 ans) afin d'optimiser la production de gros bois à grain fin et de répondre ainsi aux besoins de l'industrie du bois. Dans le cas présent, il s'agit plutôt d'une non-gestion par l'homme puisque ces futaies ne bénéficient d'aucun traitement particulier, d'aucune éclaircie ni d'entretien des sujets, sinon d'une protection de la coupe au moment de sa régénération. Ce mode de gestion consiste à laisser faire la nature et à favoriser la capacité de rejet des souches en la protégeant des hommes et des animaux par un enclos.

Les peuplements issus de cette pratique sylvicole assurent une production massive et homogène de chênes ayant un fût exploitable droit, de très grande longueur et de faible diamètre, au bout de 50-60 ans. Or, ce type de bois d'œuvre a déjà été repéré dans de nombreuses autres charpentes gothiques des XII^e-XIII^e siècles en Normandie⁹¹, et aussi dans le Bassin parisien. L'analyse dendrologique faite sur leurs bois a permis de reconnaître pour nombre d'entre eux ce mode de reproduction par rejet de souche, du fait de l'excentricité de la moelle des bois de brin et de la largeur supérieure à 3 mm par an des cernes de croissance pendant les trente premières années d'existence de l'arbre. Ils présentaient en outre les mêmes caractéristiques physiologiques que ceux de Bourges⁹², ce qui suppose des futaies hyperdenses de même type. Une autre étude dendrochronologique réalisée en région Centre sur 28 charpentes des XI^e-XVI^e siècles avait permis aussi de caractériser l'utilisation de bois issus de futaies denses, uniquement aux XII^e-XIII^e siècles⁹³. D'autres études de charpentes le confirmeraient pour la même période comme celle de l'abbaye de Fontevraud⁹⁴. Il semble donc que cette pratique sylvicole des futaies denses régénérées par recépage ait été assez répandue dans le Bassin parisien aux XII^e-XIII^e siècles et que leur exploitation a pu assurer l'approvisionnement de très nombreux chantiers de construction lors du renouveau gothique.

En effet, les charpentes gothiques que l'on voit apparaître dans la seconde moitié du XII^e siècle et qui se diffusent au XIII^e dans le Bassin parisien utilisent massivement des jeunes chênes à croissance rapide, présentant un facteur d'élanement très prononcé avec un fût droit, de faible diamètre et de grande longueur pour plus de 90 % des pièces. Les bois conservent tous le cœur de l'arbre, équarris à la hache *a minima* en respectant au mieux la forme de la grume, au plus près du diamètre initial, ce qui leur assure une résistance mécanique plus grande que celle des éléments sciés et débités. Les structures de ces charpentes y sont parfaitement adaptées avec un système tramé à chevrons-formant-fermes relativement léger, avec des entrails et des poinçons très fins, caractéristiques de la fin du XII^e au XIV^e siècle (fig. II-37). Le redressement des pentes des toits des grands édifices, passant de 44° au milieu du XII^e siècle sur les



Fig. 11-37 > Charpente du XIII^e siècle du logis comtal de Crépy-en-Valois (60), avec ses entrails et ses poinçons d'une extrême finesse.

charpentes romanes à 60° en moyenne au XIII^e siècle⁹⁵ sur les charpentes gothiques, a été permis grâce à l'usage de ce type de bois long, fin, résistant et flexible. Les grandes toitures des cathédrales gothiques, avec leurs versants de 12 à 16 m dressées à 60° face aux vents, ne pouvaient être réalisées qu'avec des bois d'œuvre de cette qualité.

L'utilisation de ce type très spécifique de bois d'œuvre, donc propre aux charpentes de la seconde moitié du XII^e siècle et du XIII^e siècle, confirme que cette pratique sylvicole était alors assez largement répandue.

Pour la période précédente, les charpentes romanes du XI^e siècle et de la première moitié du XII^e utilisent des bois de fort diamètre, à croissance lente, issus d'arbres âgés de vieilles futaies pour les entrails et des bois courts et fins provenant de jeunes taillis pour les chevrons et les raidisseurs⁹⁶. Les faibles pentes, les courtes portées du chevronnage, le système compressif de ces structures qui font porter sur les entrails toutes les charges de la charpente conviennent donc à ces modalités d'approvisionnement correspondant à du jeune taillis et de vieilles futaies.

Pour la période postérieure, les charpentes du XIV^e siècle restent identiques à celles du XIII^e tant dans leur forme générale, excepté dans le contreventement, que dans les types de bois utilisés, mais la rareté de ces charpentes nous incite à rester prudent. Il faut attendre les reconstructions de la seconde moitié du XV^e siècle pour voir un renouvellement des formes des charpentes et un changement du type de bois d'œuvre consommé. Cette évolution résulte d'une modification profonde de la gestion des ressources ligneuses et des pratiques sylvicoles. À la fin du Moyen Âge, les futaies sont de plus en plus gérées par faire valoir indirect, baillées à

cens ou à rente à des marchands de bois qui acquièrent peu à peu le monopole des coupes et des ventes. On voit ainsi se généraliser le prélèvement par furetage qui profite à l'adjudicataire en sélectionnant les meilleurs bois, laissant ainsi une forêt dégradée et éclaircie. Les ordonnances condamnant le furetage se multiplient au XVI^e siècle devant le développement de cette pratique. Les futaies régressent donc au profit du taillis-sous-futaie qui tente de concilier les besoins des chantiers de construction et ceux des usagers et des industries consommatrices en bois de chauffe. Les bois issus des baliveaux des taillis-sous-futaie⁹⁷ et de ces forêts éclaircies sont plus courts, de plus fort diamètre et leur débitage à la scie devient dès lors indispensable alors qu'aux XII^e-XIV^e siècles la scie n'était quasiment jamais utilisée en charpenterie. Les charpentes délaissent, selon les régions, les structures à chevrons-formant-fermes au profit des fermes et pannes, plus économiques en bois longs et fins. Elles adoptent les fermes à portique qui permettent de consommer davantage de bois courts et épais. Autant la section des pièces maîtresses devient surdimensionnée, autant celle des pièces secondaires, issues de bois débités à la scie, diminue dans les charpentes de comble comme dans les pans de bois. Certaines techniques comme l'entrait moisé ou la lierne assemblée dans le plan des entrails retroussés, constitués de deux pièces, se diffusent dans ce contexte. La charpente dite « armoricaine », éponyme du massif où elle se rencontre à la fin du Moyen Âge, répond aussi des contraintes environnementales liées à la prédominance du bocage et des bois courbes et noueux des haies. Ces charpentes présentent donc des structures à fermes et pannes peu consommatrices en bois, avec des arbalétriers incurvés, le plus souvent débités par économie, taillés dans les arbres émondés des haies⁹⁸. Il en est de même des charpentes à cruck de l'architecture vernaculaire dont les arbalétriers courbes étaient taillés dans les arbres recépés des haies du bocage.

À l'époque moderne, la crise forestière s'amplifie avec l'expansion du taillis-sous-futaie et la généralisation du prélèvement par furetage, laissant des forêts ouvertes et dégradées. Les ordonnances de Colbert de 1661 et 1669 chercheront à y remédier, sans réel succès. La médiocre qualité des bois utilisés dans les charpentes de cette période témoigne de cette réalité sylvicole avec l'emploi généralisé de pièces courtes, épaisses, courbes, noueuses et débitées à la scie. La très large diffusion des structures à portiques dans les charpentes d'époque moderne, du comble brisé, du toit à la Mansart et des charpentes à la Philibert Delorme répond d'une adaptation nécessaire des techniques et de l'architecture aux difficultés à trouver des bois de qualité longs et fins à l'échelle du pays entier.

Ainsi, comme on le constate pour la période romane, la fin du Moyen Âge et l'époque moderne, la structure des charpentes et les techniques de taille des bois d'œuvre sont interdépendantes de l'état des forêts et de leur gestion.

D'après les analyses dendrologiques, la forme des charpentes gothiques et de leurs bois, il s'avère que le modèle sylvicole défini pour la cathédrale de Bourges était assez largement répandu dans le Bassin parisien de la fin du XII^e au XIII^e siècle, voire jusqu'au XIV^e. L'exploitation des hautes futaies en faire valoir direct par les seigneuries propriétaires assurait une bonne gestion sur le long terme du potentiel ligneux et un contrôle des régénérations par des *mises en defens* efficaces, caractérisées par des enclos protecteurs. Cette pratique sylvicole, en favorisant l'exploitation de jeunes chênaies hyperdenses et la production massive et rapide de bois longs

et fins, aurait ainsi permis l'émergence et la diffusion des charpentes gothiques sur l'ensemble du Bassin parisien durant cette période.

À l'inverse, il est permis de se demander si les demandes importantes en bois d'œuvre de qualité des chantiers de construction, très nombreux avec l'éclosion de l'architecture gothique, la diffusion des nouvelles formes des charpentes à cette période et les modalités de taille des bois d'œuvre n'auraient pas plutôt contribué à l'émergence de ces pratiques sylvicoles.

Les témoins forestiers des pratiques sylvicoles médiévales

Autant les futaies gérées actuellement par l'ONF ne présentent aucune similitude avec celles définies pour le chantier de Bourges, autant certains vieux peuplements montrent clairement qu'ils ont connu dans les premières décennies de leur développement des pratiques sylvicoles assez proches de celles proposées ici pour le XIII^e siècle.

La futaie des Clos située dans la forêt de Bercé (Sarthe) en est l'exemple plus significatif. Cette parcelle de 8 ha de 400 chênes, classée aujourd'hui sur la liste nationale des sites naturels remarquables⁹⁹, montre aujourd'hui des arbres de 300-330 ans, très élancés (diamètre moyen de 80 cm), avec des fûts droits sans branches, de 20 à 30 m de hauteur sous le houppier (hauteur du peuplement à 46 m en moyenne), ce qui est tout à fait exceptionnel¹⁰⁰ (fig. II-38). D'après les normes actuelles, pour une station de bonne fertilité et une sylviculture dynamique, les chênes atteignent, à 195 ans, un diamètre de 75 cm, une hauteur dominante de 37 m (longueur de bille de 10 m) pour une densité de 80 arbres/ha¹⁰¹. Selon l'inventaire de la futaie des Clos établi en 1888, les chênes avaient atteint pour le même âge une hauteur de 35 à 40 m, mais un diamètre nettement inférieur de 60 cm (contre 75 cm) pour une densité deux fois supérieure (RDI = 1,02¹⁰²) de 166 chênes à l'hectare¹⁰³. Ce peuplement a été maintenu très serré depuis l'origine, et cette forte concurrence entre les sujets fut maintenue jusque vers 1920-1930 où une sylviculture dynamique fut alors mise en place avec des coupes d'éclaircies qui ont contribué à en réduire la densité pour accroître le diamètre des fûts. Une étude dendrochronologique faite sur 85 chênes de Bercé rend compte qu'à 56 ans, leur diamètre (sous écorce à 1,30 m) était de 27,7 cm, ce qui correspond précisément aux valeurs des bois de Type 1 de Bourges¹⁰⁴.

Il est donc probable que cette parcelle ait été gérée à la fin du XVII^e siècle et au XVIII^e selon un régime sylvicole semblable à celui défini au XIII^e pour les bois de Bourges, avec un peuplement monospécifique issu de rejets de souche, maintenu très serré, avec une forte concurrence entre les sujets et sans aucune coupe d'éclaircie.

Ce peuplement est le dernier témoin encore vivant dans la forêt de Bercé des premières mises en application de la grande réformation des forêts royales de Colbert en 1661 et de la célèbre ordonnance de Saint-Germain-en-Laye de 1669. Celle-ci préconisait la mise en réserve d'un quart des forêts pour convertir celui-ci à la production de bois d'œuvre de qualité. Ce quart de réserve était protégé des droits coutumiers par une réglementation stricte appliquée par des officiers forestiers, avec interdiction d'y pratiquer des prélèvements. La mise en place de plans d'arpentage matérialisé par des bornages, talus/fossés et parois végétales pour délimiter les parcelles

Fig. 11-38 > Forêt de Bercé (Sarthe), futaie des Clos.
Chêne de 46 m de hauteur et de 80 cm de diamètre,
planté à la fin du XVII^e siècle.

a permis l'aménagement de ces forêts et la réelle protection de ces réserves. De plus, la régénération de ces peuplements était basée sur le recépage, d'après les prescriptions de l'ordonnance. Le pacage et autres droits coutumiers liés à l'élevage de troupeaux en forêt étaient proscrits afin de protéger ces parcelles de l'abrutissement des rejets. Ainsi, nous retrouvons les mêmes conditions que celles du XIII^e siècle, avec des peuplements denses issus de rejets de souche, protégés non pas par des enclos mais par une police forestière qui avait fait défaut depuis des siècles. Il existe d'autres futaies datant de la réformation de Colbert qui ont été entretenues jusqu'à une date tardive avec des peuplements très denses, avant de connaître des cycles réguliers d'éclaircissements comme la forêt de Tronçay (Allier) jusqu'au début du XX^e siècle¹⁰⁵.

À l'étranger, en Slovanie, ancienne province de la Yougoslavie, dans l'actuelle Croatie, ce type de sylviculture en futaie dense, sans coupe d'éclaircie, a existé encore jusqu'au milieu du XX^e siècle¹⁰⁶. Ces vastes futaies de chênes pédonculés produisaient des sujets élancés de droit fil, sans nœud et sans branche, avec de nombreux chênes de 150 à 350 ans, de 120 cm de diamètre, au fût pouvant atteindre les 20-30 m de hauteur comme à la futaie des Clos de Bercé¹⁰⁷.

Si les arbres de Type 1 de Bourges avaient été maintenus dans les mêmes conditions de croissance pendant trois siècles, ils auraient ressemblé à ceux de la futaie des Clos de Bercé au début du XX^e siècle, avant l'introduction des éclaircies, en considérant un facteur génétique de même qualité. Si des fûts droits de 20 à 30 m de long, dépourvus de nœud, paraissent aujourd'hui surprenants, au point que ces parcelles forestières soient protégées par l'État, ils n'avaient cependant rien d'exceptionnels aux XII^e-XIII^e siècles comme en témoignent les charpentes de l'hôpital de Tonnerre (1293d¹⁰⁸) dans l'Yonne, avec ses entrails de 21 m, et de la salle des malades de l'hôpital Saint-Jean d'Angers (1176-1183d¹⁰⁹), avec ses entrails de 26 m de long.



NOTES

- 1 › Épaud 2007, p. 40.
- 2 › Hoffsummer 1989, p. 237; Hoffsummer 2002, p. 194.
- 3 › Épaud 2013, p. 192.
- 4 › Je remercie Jean-Michel Huré, forestier/charpentier à Treigny (Yonne), pour ces renseignements. L'empilement de grumes écorcées est aujourd'hui considéré comme le procédé de stockage le plus écologique et le plus économique (CTBA 2004).
- 5 › Dans des forêts de nombreuses régions (Centre, Normandie, Bourgogne...), des enceintes quadrangulaires fossoyées avec talus de 1 à 4 ha, servaient de mise en défens de parcelles à régénérer, de réserve à gibier, de lieux de pacage d'animaux saisis en délit dans la forêt et, probablement, de parc de gestion et d'exploitation de la forêt (Lefèvre 2003; Jacquet 2003, p. 218).
- 6 › F34, chevron sud; F40, chevron sud; F42, chevron nord et entrain retroussé (1243BF); F45, écharpe nord; F49, écharpe nord (1230BF); F52, chevron nord (1238); F53, écharpe sud (1238BF); F58, faux-entrain; F59, écharpe nord; F59, entrain retroussé (1254BI); F60, écharpe nord (1253BF).
- 7 › Entrain de F147 (1256 BF), de F152 (1255).
- 8 › Ghazil 2017, p. 43.
- 9 › *Ibid.*
- 10 › Bois 11 (entrain retroussé F42), 104 (poinçon F16), 127 (entrain retroussé F34), 138 (chevron F41), 323 (entrain F137), 333 (chevron F147).
- 11 › Bois 22 (traverse pan est, 1^{er} niveau), 23 (base poteau médian du pan sud) et 29 (sablière basse du pan médian).
- 12 › Alix 2013, p. 224. Pour le XIII^e siècle, ce chevillage oblique a attesté à Orléans.
- 13 › Chaudé 1946; Brichet et Duterme 1931; Poncelet 1992.
- 14 › L'écart type est cependant important (1,9) en raison de sections assez variables, avec un lot de bois de 17 × 15 cm (23 cm de diamètre) et un autre de 21 × 16 cm (27 cm de diamètre).
- 15 › Brichet et Duterme 1931; Poncelet 1992.
- 16 › Épaud 2007, p. 49.
- 17 › Jousse 1702.
- 18 › Sens horaire (vrille dextrogyre en montant): F22, écharpe nord; F24, chevron sud; F28, entrain retroussé; F66, chevron sud. Sens antihoraire (vrille lévogyre): F24, entrain retroussé et écharpe sud; F44, écharpe sud; F50, écharpe nord; F52, écharpe nord; F63, chevron sud.
- 19 › Sens horaire: F117-116-115, chevron sud; F120, chevron nord; F114-116-121, aisseliers sud; F120, écharpe sud. Sens antihoraire: F120, écharpe sud.
- 20 › Suger, *De consecratione* (3), cité et traduit dans Panofsky 1967, p. 61.
- 21 › Chaudé 1946; Brichet et Duterme 1931; Poncelet 1992.
- 22 › Appelée aussi « défilement », c'est le nombre de centimètre que l'arbre perd sur sa circonférence par mètre de hauteur. Elle définit la forme plus ou moins tronconique du fût, liée à la densité du peuplement.
- 23 › Un arbre croît par sa circonférence depuis le cambium situé sous l'écorce en produisant des cernes selon un empilement tronconique. Le haut du fût comporte donc moins de cernes qu'à la base.
- 24 › Épaud 2017.
- 25 › Une grume de Type 1 représente 0,44 m³ pour la nef et 0,57 m³ pour le chœur, celle de Type 3 1,38 m³ pour la nef et 1,80 m³ pour le chœur.
- 26 › Les traces de lattis observées sur les chevrons médiévaux et les lattes en chêne d'époque moderne retrouvées en place attestent de sections plus fines, de l'ordre de 1 × 4 cm, et de longueurs plus importantes, entre 1,70 et 2,20 m.
- 27 › Les espacements des clous relevés sur les chevrons réemployés dans les fermes 56 à 67 sont en moyenne de 11,5 cm, ce qui correspond à des tuiles de grand format, de 35 cm de longueur.

28 > L'expérimentation de Guédelon a en effet montré que la production des 2 500 lattes de chêne refendu (1,5 × 5 × 1,20 m) destiné aux 310 m² de toiture de petites tuiles a consommé en tout 12 m³ de bois, avec toutefois 80 % de perte, ce qui représente 2,25 m³ en produit fini.

29 > Ghazil 2017, p. 40.

30 > Buhot de Kersers 1892, p. 237-239 et 242-243.

31 > Dufour 1995, p. 157-160.

32 > AD Cher : 8 G 1065.

33 > AD Cher : 8 G 1066.

34 > BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274.

35 > Boutault 1942, p. 67. Ce n'est qu'au milieu du XVIII^e siècle qu'on apprend, lors d'une requête faite au Conseil d'État par le chapitre Saint-Étienne pour demander de vendre du bois dans leur possession afin de subvenir aux travaux du clocher, que celui-ci détenait des cantons de bois aussi à Bengy (AD Cher : B 2417).

36 > Girardot 1853, p. 81.

37 > Hamon 1999.

38 > Roth 1999, p. 82.

39 > Girardot 1853, p. 82.

40 > AD Cher : 8 G 1066 et G 49 cité dans Roth 1999, p. 82.

41 > AD Cher : 8 G 1068.

42 > AD Cher : G 49 (8) cité dans Roth 1999, p. 82.

43 > Girardot 1849, p. 6.

44 > Bois de 23 cm de diamètre en pied, de 14 m de long minimum et de 1,6 cm/m de défilement (fig. 50).

45 > Physionomie et composition en essences prises par des individus d'association d'une même communauté forestière sous l'effet de la sylviculture.

46 > Dendrotech 2015, p. 6.

47 > Peuplement issu de rejets sur souche.

48 > Voir fig. II-20 : 374 majoré de 26 % par l'expérimentation = 470.

49 > En 1243, le roi donne « à notre aimé chapitre de Saint-Maurice de Tours [...] deux arpents de bois, afin d'édifier son église, dans la forêt à nous et à notre aimé et fidèle Jules, archevêque de Tours » (Grandmaison 1892-1894 : acte CXLIII cité dans Jacquet 2003, p. 368). En octobre 1279, le chapitre Saint-Gatien vend aux maîtres d'œuvre de la cathédrale de Tours 34 arpents (près de 14 ha, soit un carré de 373 m de côté) de bois, situés dans leurs forêts localisées à Saint-Branches, pour 544 livres. Le contrat stipule que « les acheteurs promettent et se sont obligés à vendre, exploiter, enlever tout le bois qu'ils ont acheté dans un délai de cinq ans » (AD Cher : G 68).

50 > Entre quatre et quinze par arpent d'après les textes de la fin du Moyen Âge en Touraine (Jacquet 2003, p. 412).

51 > *Ibid.*, p. 100.

52 > Épaud 2007, p. 10-19.

53 > Ghazil 2017.

54 > *Ibid.*, p. 16.

55 > Chaudé 1946 ; Brichet et Duterme 1931 ; Poncelet 1992.

56 > RDI (indice de densité de Reineke) de 0,9 à 1,1. Données transmises par F. Ningre, directeur d'unité adjoint du LerFob, INRA, Nancy.

57 > Lemaire 2010, p. 63-64 ; Nebout 2007, p. 40.

58 > RDI proche de 1.

59 > Données Lemaire 2010, p. 63-64.

60 > Les éclaircies n'accélèrent pas la croissance des arbres, elles la maintiennent constante (Lemaire 2010, p. 71).

- 61 › Dendrotech 2015, p. 7.
- 62 › Ducrey 1988, p. 304 et 312.
- 63 › *Ibid.*, p. 304.
- 64 › Corvol 1991, p. 303.
- 65 › Jacquet 2003, p. 402.
- 66 › *Ibid.*
- 67 › Action de couper un arbre près de terre afin d'obtenir de nouvelles pousses (définition du Larousse).
- 68 › Hüffel cité dans Bontemps 2006, p. 248.
- 69 › Corvol 1991, p. 301. Au XIX^e siècle encore, la vaste campagne de conversion des taillis-sous-futaie en futaie faisait appel à cette méthode et à la capacité du chêne à rejeter de souche. Le taillis était conservé jusqu'à quarante ans, où un nettoyage/dépressage était pratiqué, puis le peuplement en futaie était maintenu jusqu'à son terme (Bontemps 2006, p. 249).
- 70 › *Ibid.*, p. 242-253.
- 71 › Fischesser 2009, p. 184.
- 72 › Dendrotech 2015, p. 7.
- 73 › La densité d'une placette témoin sans dépressage de taillis de chêne passe de 100 000 brins/ha à 6 000 à 60 ans sans intervention (Ducrey 1988, p. 309).
- 74 › Jacquet 2003.
- 75 › Prélèvement des bois blancs destinés au chauffage ou à l'artisanat (érable, bouleau, noisetier, frêne, buis, saule, aulne, troène, cornouiller, coudrier, houx...).
- 76 › Buridant 2004, p. 216.
- 77 › Corvol 1991, p. 300.
- 78 › En 1285, le panage en forêt de Loches (4 000 ha) concernait 11 520 porcs (Jacquet 2003, p. 350).
- 79 › *Ibid.*, p. 408.
- 80 › Devèze 1961, p. 100.
- 81 › Roquelet 1984, p. XLIX.
- 82 › En forêt de Bréchenay, l'enquête de 1434 mentionne que les fossés autour de la coupe doivent être de sept pieds de large et de cinq pieds de profondeur (Jacquet 2003, p. 100 et 408).
- 83 › AD Indre-et-Loire : 3E 1/3 (Jacquet 2003, Annexe 7 – XXXIV).
- 84 › *Light, detection and ranging*. Il s'agit d'une technique de détection des microreliefs sous couvert forestier par un scanner embarqué sur avion.
- 85 › Noël 2007.
- 86 › Sur ces 505 chênes, 470 sont de Type 1.
- 87 › Pardé 1978, p. 14 ; Lemaire 2010.
- 88 › Pour les forêts de l'Église en région Centre, un arpent médiéval vaut 40,9 ares (Charbonnier et Poitrineau 2001)
- 89 › Jacquet 2003, Annexe 6 – LV.
- 90 › *Ibid.*, vol. 3, p. 403.
- 91 › Épaud 2007, p. 20-24.
- 92 › *Ibid.*, p. 10-19.
- 93 › Jacquet 2003, vol. 3, p. 425-434.
- 94 › Hunot 2001, p. 131-132.
- 95 › Épaud 2007, p. 171.
- 96 › *Ibid.*, p. 16.

- 97 › En Angleterre, les baliveaux de réserve des taillis-sous-futaie sont utilisés dès la période médiévale (Rackham 1976).
- 98 › Épaul, Bernard et Ledigol 2008.
- 99 › Lebourgeois, Cousseau et Ducos 2003 ; Cousseau 2002 ; Lebourgeois, Cousseau et Ducos 2004.
- 100 › Dans cette forêt, dans la vallée de l'Hermitière, il existe même un peuplement de chêne de 50 m de hauteur dominante.
- 101 › Jarret 1996, p. 21-28.
- 102 › RDI : Reineke Density Index (indice de densité relative).
- 103 › Lebourgeois 2003, p. 338.
- 104 › Je remercie vivement Jean-Luc Dupouey (INRA, unité Écologie et Écophysiologie forestières) pour cette information (étude en cours de Stéphane Ponton, INRA, unité Écologie et Écophysiologie forestières).
- 105 › Gamblin, Jarret, Le-Goaster, Lathuillière et Macaire, 2010.
- 106 › Klepac 1981, p. 87-104.
- 107 › Ces futaies étaient gérées encore récemment comme au Moyen Âge, avec notamment la pratique du panage des porcs et du pâturage des vaches en forêt jusqu'en 1960, sans coupe d'éclaircie, des régénérations naturelles avant la coupe (sans coupe d'ensemencement), et pour une production de bois d'œuvre destinée à la charpenterie traditionnelle à la hache, la scierie n'étant apparue que tardivement, au début du XIX^e siècle (Klepac 1981).
- 108 › Hoffsummer 2002, p. 203.
- 109 › Hunot 2011, p. 283.





LA STRUCTURE DE LA CHARPENTE

AU PREMIER REGARD, les charpentes gothiques de la nef et du chœur semblent identiques, avec une uniformité structurelle qui témoigne d'un projet originel commun (fig. III-1). Cette homogénéité renvoie à celle qui transparait globalement dans l'édifice où l'architecture du chœur ne se distingue de celle de la nef qu'à quelques détails près, malgré la longue durée du chantier. Dans la charpente, cette cohérence structurelle se justifierait par la célérité du chantier, avec une mise en œuvre rapide en 1256-1257 malgré des approvisionnements commencés dès 1230. Toutefois, nombre de détails permettent de bien distinguer la charpente de la nef de celle du chœur, que ce soit par la section de pièces, le marquage des bois, la structure des fermes, le sens de montage des fermes ou le contreventement des fermes. Ces éléments, que nous analyserons un à un, permettront de mettre en évidence deux chantiers bien distincts entre la charpente de la nef et celle du chœur qui se sont succédés rapidement et qui ont été réalisés par les mêmes équipes de charpentiers.

LE PLAN

Le plan général des charpentes du XIII^e siècle (fig. III-2 et III-3 planche A3), sur la nef et le chœur, montre une répartition des fermes par travées, ayant chacune d'entre elles une ferme principale, avec entrain et poinçon, et une courte série de fermes secondaires. La position de ces fermes n'a été que très peu modifiée depuis l'origine, malgré le rehaussement de leur base au XIX^e siècle qui a entraîné le remplacement des sablières, des blochets et un démontage/remontage en réemploi de tous les entrains. L'espace des fermes n'a pu être impacté puisque ce remaniement a été réalisé en sous-œuvre, en maintenant les fermes dans leur position initiale.



Fig. III-1 > Vue de la charpente gothique du vaisseau principal, depuis la nef.

La charpente de la nef (F16-F67) est subdivisée en dix courtes travées de quatre fermes secondaires chacune, à l'exception de la 9^e travée (F56-F62) composée de cinq fermes secondaires, conséquence du remaniement de 1263 sur les deux dernières travées orientales de la nef. Hormis celles-ci, les travées sont longues de 3,20 m en moyenne, à l'entraxe des entrails des fermes principales. L'espace des fermes, de flanc de chevron à flanc de chevron (entrevous) est toutefois irrégulier et varie de 43 à 54 cm avec une moyenne de 47,9 cm pour un écart type de 4 cm, ce qui revient à un entraxe moyen de 63,1 cm, soit deux pieds de 31,5 cm.

La charpente du chœur reproduit le même plan régulier : onze courtes travées de quatre fermes secondaires chacune, avec une moyenne de 3,18 m à l'entraxe des entrails, identique à celle de la nef. L'entraxe des fermes, de 63,7 cm en moyenne, est aussi très proche de celui de la nef. Ces moyennes s'accordent avec celles connues pour de grandes charpentes du XIII^e siècle en France septentrionale, qui varient autour de 62 cm¹.

Le plan des travées d'origine est par contre difficile à restituer sur la partie médiane de la charpente. En effet, celle-ci a été modifiée une première fois en 1263 pour être remplacée par une structure² dont subsistent les fermes 57 à 67, puis une deuxième fois en 1540-1542, lors de la reconstruction de la flèche, et enfin une troisième fois en 1747-1754 suite au remplacement de cette dernière par une charpente à fermes et pannes. Sur cet espace long de près de 24 m, entre F56 et F107, en respectant l'entraxe des fermes de la nef et du chœur, on restitue la présence originelle de 36 fermes. Toutefois, il n'est pas possible de restituer des travées régulières de quatre fermes secondaires chacune, mais uniquement trois travées de quatre fermes secondaires et deux autres travées de cinq fermes secondaires. Nous aurions donc dès la mise



en place de la charpente une perturbation dans la trame des travées qui pourrait être liée au raccord des charpentes de la nef et du chœur puisque leur sens de levage est opposé.

Concernant la partie occidentale de la nef, située entre les deux tours de façade et remplacée au XIX^e siècle, la charpente originelle présentait trois travées de quatre fermes secondaires, comme sur le reste de la nef, avec donc trois fermes principales, comme le suggère la numérotation continue des poinçons des fermes suivantes. Ces fermes principales étaient davantage destinées à porter le dispositif de contreventement longitudinal, qui était fixé au poinçon, plutôt qu'à lutter contre l'écartement des fermes puisque les puissantes maçonneries des deux tours permettaient de reprendre leurs poussées.

Hormis deux travées de cinq fermes secondaires, sises vraisemblablement au raccord du chœur et de la nef, l'ensemble de la charpente d'origine présente donc une trame homogène sur toute sa longueur, avec des travées courtes basées sur les mêmes cotes et les mêmes espacements. Cette régularité suppose donc une conception générale de l'ouvrage basée sur un dessin original sur toute la longueur vaisseau principal respectant une mesure unique.

LA RÉPARTITION DES CHARGES

Cette charpente présente donc des travées très courtes, de 3,20 m en moyenne, qui ne s'accordent pas avec l'emplacement des piles maçonnées, espacées de 7,20 m environ, elles-mêmes définies par les grandes voûtes sexpartites qui couvrent chacune deux travées, sur près de 14,50 m. L'implantation des fermes principales n'est donc pas dictée par un éventuel report des charges de la charpente sur les points forts des supports maçonnés.

Cette indépendance vis-à-vis de la trame des murs s'explique par la grande longueur des travées maçonnées, bien trop importante pour une travée de charpente à chevrons-formant-fermes. En effet, une travée de plus de 7 m pour une charpente de ce type et de cette dimension aurait inévitablement généré de fortes poussées latérales sur les murs gouttereaux et engendré de sérieuses déformations. Les charpentes à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle qui ont adopté la même trame que celle des piles, avec de longues travées et des fermes principales réparties au droit des piles maçonnées, présentent des dispositifs de report des charges des fermes secondaires sur les fermes principales qui sont très complexes, lourds et quasi expérimentaux. On les rencontre dans les charpentes de la collégiale d'Étampes, des cathédrales de Rouen et d'Auxerre ainsi que dans de nombreuses granges comme celle de Saint-Lazare de Beauvais, la plupart dans les années 1220-1240.

Outre la portée longitudinale de travée de plus de 7 m, le maître charpentier de Bourges était confronté à d'autres défis de taille, liés au gigantisme de la construction : portée transversale de mur à mur de 13 m, poussées des vents sur 14 m de versant avec un faitage à 48 m du sol sur contreventement d'une charpente de 12 m de hauteur, etc. La solution retenue par le maître charpentier était donc d'assurer la stabilité de la base de la charpente, sans que celle-ci ne puisse générer la moindre poussée sur les murs. Il a donc conçu une trame avec de très courtes travées dans le but de réduire au minimum les poussées latérales générées par les fermes secondaires

sur les murs. En effet, ces fermes sont dépourvues d'entrait à leur base et ont donc tendance à s'écarter à leur base, en poussant latéralement sur les murs porteurs. Ainsi, plus le nombre de fermes secondaires est élevé au sein d'une travée, plus ces poussées latérales sont importantes et dommageables pour les murs, surtout si ces derniers sont minces. Ainsi, pour limiter ces poussées latérales, le maître d'œuvre a réduit au minimum le nombre de fermes secondaires par travée, en rapprochant les fermes principales dont l'entrait assure un rôle de chaînage transversal, empêchant l'écartement de la base de la charpente. Cette précaution est ici particulièrement justifiée du fait des poussées générées par de très grandes fermes et de la faible épaisseur des murs porteurs, de 1,10 m seulement sous la corniche. Ajourés par de larges baies vitrées, ces murs sont donc évidés sur une grande partie de leur longueur et ne sont raidis qu'au droit des piles, lesquelles reçoivent les arcs-boutants et les poussées des voûtes sexpartites. Entre ces piles, distantes de 7,20 m en moyenne, les murs minces des travées constituent donc des zones fragiles qui ne doivent subir aucune déformation. Cette trame homogène de travées courtes sur tout le long de la charpente permet ainsi de préserver ces murs minces de toutes poussées latérales, générées à la fois par la structure des chevrons-formant-fermes mais aussi par les vents sur les versants. On retrouve cette technique de la travée courte aux mêmes périodes dans les charpentes des cathédrales de Tours (travées de 3,80 m), de Meaux et Paris (3,60 m), de Beauvais (2,90 m) et de Bayeux (2,80 m), là où les contraintes architectoniques sont similaires.

La charpente, avec ses travées courtes, répartit ses charges de façon homogène le long des murs gouttereaux. Le surpoids des fermes principales par rapport aux fermes secondaires, généré par l'entrait et le poinçon (de 660 kg environ), ne représente pas une nuisance majeure pour les murs. Quant au dispositif longitudinal d'origine, comme on le verra plus loin, ses charges sont réparties uniformément sur toutes les fermes.

Quel est le poids de cette charpente ?

	Volume (m ³)	Poids (tonnes), chêne sec*
Nef : ferme principale	1,95	1,48
Nef : ferme secondaire	1,10	0,83
Chœur : ferme principale	2,17	1,65
Chœur : ferme secondaire	1,29	0,98
Pièces longitudinales (pour trois travées)	2,10	1,59
Charpente de la nef	14,8,12	112,57
Charpente du chœur	87,94	66,83
Croupe absidiale	18,52	14,07
Total	254,58	193,48

Tableau > Volumes et poids de la charpente.

* : densité du chêne sec : 760 kg/m³ (Comité national pour le développement du bois).

Lors de la pose, avec un bois encore gorgé d'eau³, le poids de toute la charpente représente 250 tonnes environ pour passer ensuite, après le séchage rapide des bois, à près de 200 tonnes, sans compter les matériaux de couverture et le lattis. Par travée, entre deux piles, les murs subissent donc des poussées quasi verticales de quatorze tonnes environ, ce qui semble largement acceptable pour cette architecture.



Fig. III-4 > Vue des arcs-boutants avec leur volée supérieure destinée à contenir les poussées latérales générées par les vents.

Si la répartition des charges de la charpente se fait de façon homogène et de manière quasi verticale le long des murs, les poussées générées par les vents sur les versants de toiture représentent cependant un facteur de risque important pour la stabilité des gouttereaux. Malgré une bonne orientation par rapport aux vents dominants d'ouest, en période de tempête et de grands vents, ces poussées peuvent contraindre fortement les murs gouttereaux à supporter le double des charges normales. Pour cette raison, le maître d'œuvre a conçu des arcs-boutants avec une volée supérieure d'arcature placée en partie haute des piles, au-dessus de la retombée des charges des voûtes (fig. III-4). Cette volée supplémentaire permet ainsi de contrebuter les murs en partie sommitale au cas où ces derniers viendraient à subir de telles poussées. Des arcs-boutants de ce type, avec une volée sommitale placée à la reprise des poussées de la charpente, bien au-dessus de celles des voûtes, s'observent sur la plupart des grands édifices gothiques comme les cathédrales de Reims, Beauvais, Chartres, Paris et Amiens.

LES FERMES

Avant l'amputation du pied des fermes et le rehaussement des chéneaux en 1882 d'une quarantaine de centimètres, les fermes avaient une hauteur de 11,80 m et une largeur totale de 15 m dans le chœur contre 14,70 m dans la nef. On constate un effet un élargissement progressif mais irrégulier du vaisseau de l'ouest vers l'est, avec une largeur dans œuvre des murs sous F36 de 13,01 m contre 13,44 m sous F132. Nous ignorons si cet écartement s'observe dans le plan des

piles et s'il est volontaire ou bien, dans le cas contraire, s'il s'agit d'une déformation des élévations liée aux poussées des voûtes.

En raison des différences structurelles observées entre les fermes de la nef, celles du chœur et de la partie remaniée de la nef, on présentera distinctement et successivement les fermes de ces trois parties de la charpente selon l'ordre chronologique de leur mise en place : 1256 pour la nef, 1257 pour le chœur et 1263 pour les travées orientales de la nef sur le faux-transept.

Les fermes de la nef

Toutes les fermes de la nef présentent leur face d'assemblage, de marquage des bois et d'enfoncement des chevilles (dite face d'établissage) à l'ouest, ce qui prouve que ces fermes ont été levées depuis le pignon occidental et que le montage a progressé vers l'est (fig. III-5).

De la charpente d'origine qui couvrait toute la nef ne subsistent plus que les fermes 16 à 56. Ces fermes couvrent une portée de 13 m dans œuvre des murs. Dans leur état restitué du XIII^e siècle, elles culminent à 11,70 m de hauteur (11,25 m aujourd'hui) depuis l'arasement des murs et présentent une inclinaison des chevrons de 57,5°.

On distingue les fermes principales, dotées d'un entrait et d'un poinçon, des fermes secondaires qui en sont dépourvues (fig. III-6).

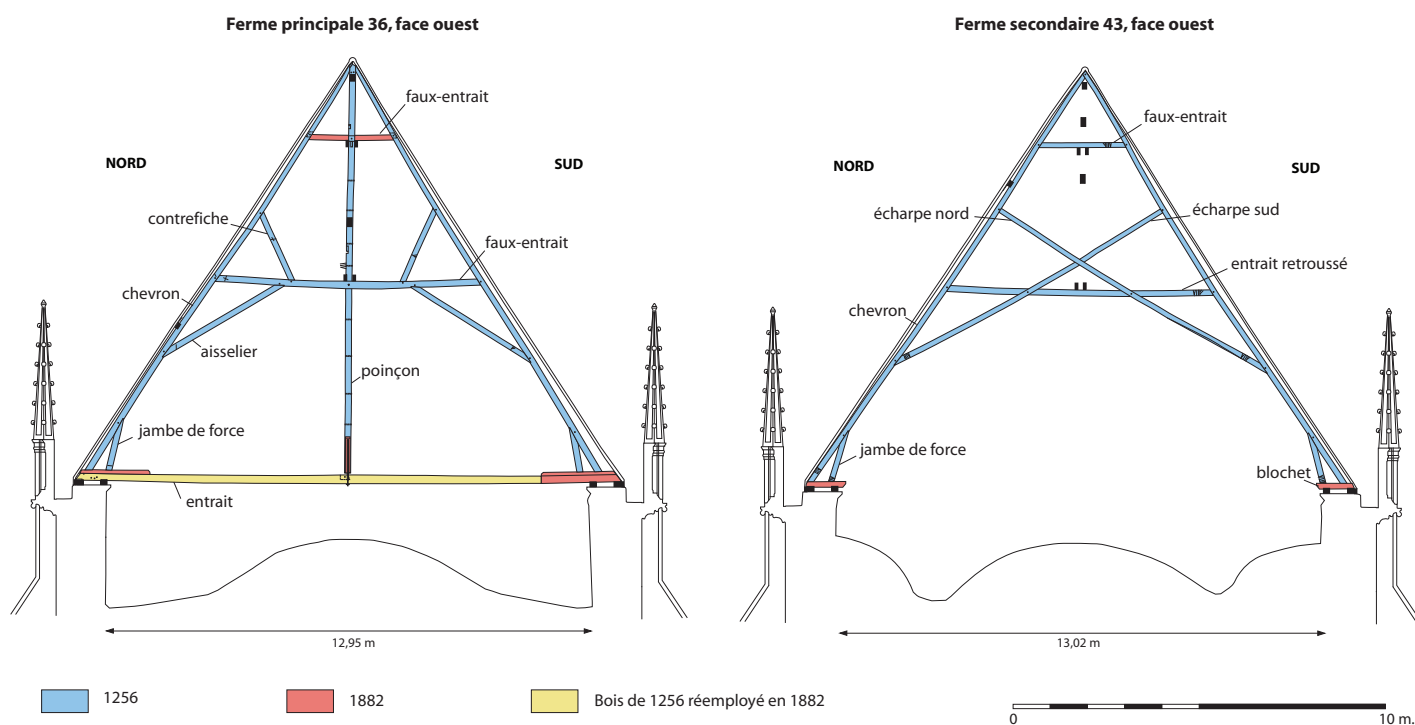


Fig. III-5 > Charpente de la nef, fermes principale 36 et secondaire 43, face ouest. [Relevé et DAO : F. Épaud.]

Fig. III-6 › Charpente de la nef, avec sa succession de fermes principales et secondaires.

Les fermes principales de cet ensemble (F16-F56), restituées avec leur pied à 40 cm plus bas (fig. III-7), sont constituées d'un entrait principal, d'un couple de chevrons raidis par deux faux-entraits. Des pièces secondaires renforcent le raidissement des chevrons avec un couple de jambes de force, deux aisseliers et deux contrefiches qui s'assemblent dans le premier faux-entrait. Les aisseliers comme la tête des jambes de force sont assemblés aux chevrons et à l'entrait retroussé par tenon-mortaise avec un embrèvement pour mieux travailler en butée.

Pour soulager l'entrait et éviter que celui-ci ne fléchisse sous son propre poids, un poinçon de fond est assemblé en tête, sur ses flancs, aux chevrons, puis par un mi-bois aux deux faux-entraits. En pied, le poinçon est assemblé à l'entrait par un tenon taillé en demi-queue d'aronde qui vient s'insérer dans une longue mortaise, taillée selon un profil inverse, et bloquée, après insertion du tenon, par une cale en bois appelée rosignol. Ce tenon permet de suspendre l'entrait à la manière d'un crochet. En effet, le poinçon est retenu en tête, grâce à la pression qu'exercent les chevrons sur ses flancs et par les deux faux-entraits qui le maintiennent en suspension. Dès la pose de la couverture et la mise en flexion des chevrons, ces derniers mettent en tension le poinçon qui peut, dès lors, recevoir des charges. Le poinçon, maintenu par les deux faux-entraits, est donc suspendu et ne travaille pas en compression vers le bas. Il peut dès lors suspendre l'entrait grâce à ce tenon en forme de demi-queue d'aronde, et empêcher ainsi l'entrait de fléchir sous son propre poids. Ce système de circulation des charges est appelé « triangulation ».

Les poinçons ont une section plus fine en pied qu'en partie médiane du fait d'un sur-équarrissage de sa moitié inférieure afin de l'alléger de ses fibres inutiles pour le travail en traction qu'il effectue. Il en est de même pour le premier faux-entrait dont la partie médiane est plus épaisse que ses extrémités. Cette pièce a donc aussi été sur-équarrée sur la partie correspondant au pied de la grume afin de l'alléger tout en conservant en partie centrale suffisamment de matière pour résister aux contraintes du poinçon. L'entrait principal présente aussi un amincissement de la moitié correspondant à la partie inférieure du fût de l'arbre, pour les mêmes raisons.



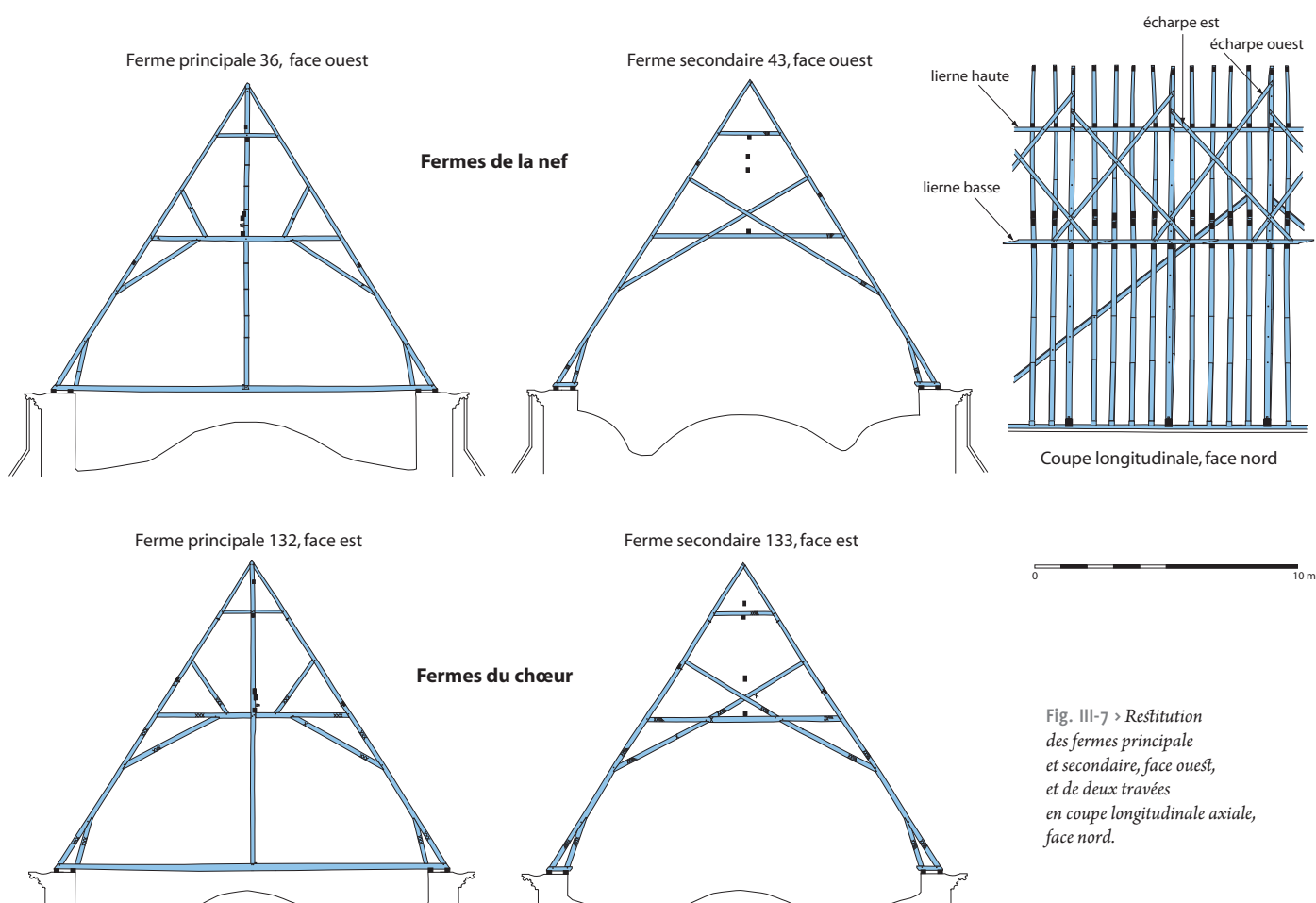


Fig. III-7 > Restitution des fermes principale et secondaire, face ouest, et de deux travées en coupe longitudinale axiale, face nord.

Les fermes secondaires sont chacune constituées d'un couple de chevrons assemblés en tête par enfourchement et raidis par un entrain retroussé, une croisée de grandes écharpes et, en partie haute, un faux-entrain. En pied, une jambe de force reprend les charges pour les transmettre à un blochet (disparu) qui réasseyait le pied du chevron. Tous les raidisseurs (jambes de force, entrain retroussé, faux-entrain, écharpes) sont assemblés aux chevrons par des tenons mortaises. Ceux des jambes de force et du pied des écharpes comportent un léger embrèvement de façon à ce que ces bois travaillent mieux en butée sur le chevron. La croisée des écharpes est à mi-bois, comme celle des écharpes à l'entrain retroussé, assemblée depuis la face ouest.

Les entrains retroussés présentent une section plus haute que large ($16 \times 14,5$ cm) comparée à celle des autres bois. Cette sur-épaisseur leur permet de mieux résister aux efforts de traction, générés par l'écartement des chevrons, et de flexion, engendrés par les écharpes. Ces dernières, assemblées aux extrémités aux chevrons, servent à contenir l'ouverture de la ferme tout en assurant le raidissement des chevrons en reprenant leur flexion pour les transmettre d'un versant à l'autre, annulant ainsi leurs effets par compensation mutuelle.

Dans toutes les charpentes médiévales à chevrons-formant-fermes, à quelques exceptions près, le raidissement des chevrons est identique dans les fermes principales et secondaires. Ici,

la disposition des raidisseurs est différente, avec des contrefiches et aisseliers dans les fermes principales et des grandes écharpes dans les fermes secondaires. Il aurait été logique de voir aussi des grandes écharpes dans les fermes principales, à l'image des fermes secondaires. Cette anomalie se retrouvera sur toutes les fermes principales de la charpente et s'explique par la mise en œuvre du dispositif longitudinal, fixé au poinçon, que nous détaillerons ultérieurement. On constate en effet que si les fermes principales avaient été dotées d'une croisée d'écharpes, il aurait été impossible d'assembler sur le poinçon les liernes et les grandes écharpes du dispositif longitudinal. Ainsi, en remplaçant les écharpes par des contrefiches, le poinçon est libéré pour l'assemblage du dispositif longitudinal. Ce détail confirme que ce dernier a bien été conçu dès l'origine, en même temps que les fermes.

Les fermes du chœur

D'après les analyses dendrochronologiques, la mise en œuvre de la charpente du chœur se situe en 1257 et succède donc de très près à celle de la nef, réalisée l'année précédente. Elle fut levée après le démontage de la toiture provisoire qui couvrait le chœur depuis sa mise en service en 1214.

Toutes les fermes du chœur ont leur face d'assemblage et de marquage orientée vers l'est, avec un sens d'enfoncement des chevilles de l'est vers l'ouest, contrairement aux fermes de la nef dont la face d'établissement est tournée vers l'ouest (fig. III-8). Le montage des fermes du chœur

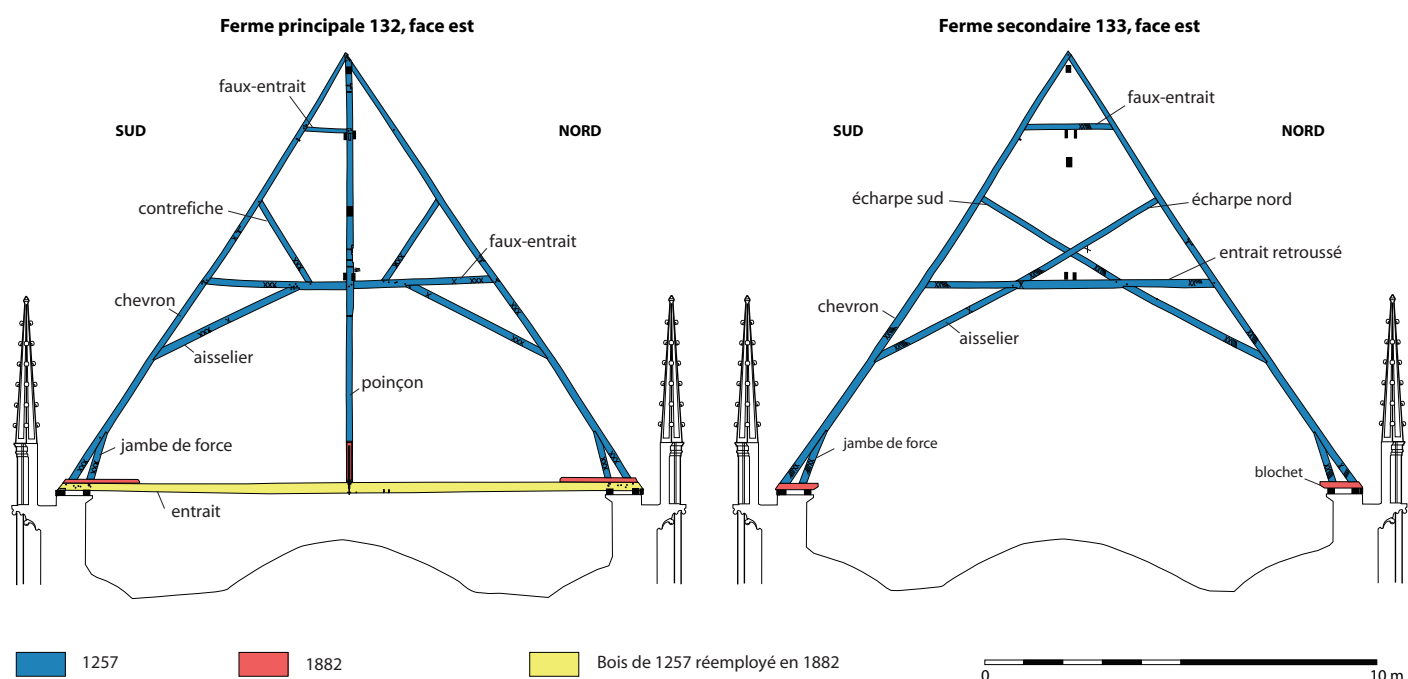


Fig. III-8 > Charpente du chœur, fermes principale 132 et secondaire 133, face est. [Relevé et DAO : F. Épaud.]

a donc commencé par la croupe absidiale et a progressé vers l'ouest pour se raccorder au droit de la 8^e pile à la charpente de la nef, déjà montée.

Les fermes principales du chœur, dans leur état d'origine restitué avec leur pied plus bas de 40 cm (fig. III-6), sont constituées d'un entrain à la base de 15 m de long, d'un poinçon de fond et d'un couple de chevrons de 13,70 de long, inclinés à 57,3°, raidis par deux jambes de force, deux faux-entrains, deux aisseliers et deux contrefiches. Les faux-entrains, plutôt que d'être d'une seule pièce comme dans la nef, sont constitués chacun de deux pièces assemblées aux flancs du poinçon par tenon-mortaise. Tous les raidisseurs sont assemblés par des tenons-mortaises avec des embrèvements pour les aisseliers et en tête des jambes de force.

Le poinçon est censé travailler en traction par triangulation, en suspendant l'entrain pour le soulager de sa grande portée. Son assemblage en pied dans l'entrain présente donc, comme dans la nef, une forme de demi-queue d'aronde, bloqué dans sa mortaise par un rossignol, afin de faciliter ce travail en traction, à la manière d'un crochet. Toutefois, la triangulation n'a pas fonctionné correctement en raison des charges véhiculées par le dispositif longitudinal et les poinçons sont descendus d'une dizaine de centimètres en rompant leur assemblage de tête avec les chevrons (fig. III-9). Ce phénomène a été observé aussi dans la nef avec la rupture des têtes de poinçons et des premiers faux-entrains.

Dans le chœur, ce problème est renforcé par un défaut de conception : les faux-entrains sont constitués de deux pièces, tenonnées aux flancs du poinçon, alors qu'ils auraient dû être d'une seule pièce, assemblée à mi-bois au poinçon, comme dans la nef, pour participer à la suspension du poinçon. Ainsi, les poinçons n'étaient retenus que par les têtes des chevrons, dont la trop faible section ne permettait pas de résister à cet effort. Par ailleurs, le dispositif longitudinal était fixé aux poinçons, ce qui a contribué à alourdir ces derniers et à favoriser leur décrochage en tête. Enfin, notons que les chevrons ont aussi fortement fléchi sous le poids de la couverture en raison de leur finesse et leur grande longueur, ce qui a fortement contribué à fragiliser leurs assemblages en tête des poinçons. Quant aux entrains, il ne semble pas

qu'ils aient eu un rôle dans cette descente des poinçons par un éventuel fléchissement sous leur propre poids puisqu'ils ont tous été réemployés au XIX^e siècle dans leur position initiale et qu'ils ne montrent aucune déformation.

Comme dans la nef, la partie inférieure des poinçons a été sur-équarrie pour supprimer la matière inutile et alléger la pièce. Ce travail d'amincissement forcé s'observe aussi sur



Fig. III-9 > Descente du poinçon de F117.



les premiers faux-entrants, en partie externe, et sur l'entrait principal dont la partie médiane est plus forte que les extrémités.

Les fermes secondaires du chœur, dans leur état restitué ont une portée totale⁴ de 15 m pour une hauteur de 11,80 m depuis l'entablement des murs (11,30 m aujourd'hui). Elles présentent un couple de chevrons raidis par un entrait retroussé, une croisée de petites écharpes, assemblées en pied dans l'entrait retroussé et prolongées par des aisseliers, et en partie haute par un faux-entrait. Le pied des fermes, remanié au XIX^e siècle, était constitué d'une jambe de force et d'un blochet.

Ces fermes secondaires se distinguent donc de celles de la nef qui comportent des grandes écharpes et un entrait retroussé de moindre section. L'entrait retroussé des fermes du chœur présente en effet une plus forte section en partie médiane (20 × 15 cm contre 16 × 14,5 cm dans la nef) et un sur-équarrissage aux extrémités afin d'assurer une meilleure butée par emboîtement aux aisseliers. Pourquoi ce changement de parti entre la nef et le chœur ? Deux hypothèses peuvent être avancées.

La première suppose un choix déterminé par le manque de disponibilité en bois longs. Le maître charpentier aurait alors opté pour des petites écharpes complétées par des aisseliers afin de pallier cette insuffisance.

La seconde hypothèse suggère un choix d'ordre technique lié à la stabilité de la ferme. Les fermes du chœur ont été exécutées peu après le levage de la charpente de la nef en 1256. À la vue de la forte flexion des chevrons de la nef, il est possible que la solution des courtes écharpes, associées à un entrait retroussé de plus forte section, ait été préférée aux grandes écharpes, en supposant que cette flexion serait amoindrie avec des bois courts, plus épais et davantage d'assemblages. De plus, le contreventement longitudinal axial d'origine, aujourd'hui disparu, s'appuyait sur les entrants retroussés qui, dès l'achèvement de la nef, a dû montrer des signes de faiblesse, ce qui aurait incité le maître d'œuvre à choisir des entrants retroussés de bien plus forte section pour le chœur. Quoi qu'il en soit, on constate que les déformations des fermes secondaires du chœur sont similaires à celles de la nef et que ce choix n'a donc pas été si judicieux. Il est toutefois intéressant de constater que l'usage des grandes écharpes tend à disparaître dans les charpentes dans la seconde moitié du XIII^e siècle. Cet abandon des longues écharpes, entre le chantier de la nef et du chœur, témoignerait ici d'une recherche orientée probablement vers une meilleure stabilité des fermes, même si les ressorts de cette réflexion nous échappent encore.

Les fermes des travées orientales de la nef (F57-F67)

Les analyses dendrochronologiques placent la reprise de la charpente des travées orientales de la nef en 1263, soit quelques années seulement après l'achèvement de la charpente du vaisseau principal. Il s'agit donc bien d'un repentir survenu à l'issue du chantier du chœur qui a consisté à démonter sur 23 m les sept travées orientales de la charpente de la nef afin de rajouter très vraisemblablement une grande flèche en bois au droit des 7^e et 8^e piles (fig. III-3 planche A3).

Ce chantier a donc largement empiété sur les travées attenantes à l'ouest de la flèche afin de pouvoir établir un vaste plancher de travail pour le montage de la structure qui devait présenter une grande élévation. À l'issue du levage de la flèche, les fermes de ces travées attenantes à l'ouest furent remontées en réemployant de nombreux éléments des fermes précédentes déposées. Les fermes 57 à 67 sont donc les seuls témoins archéologiques qui subsistent de ce vaste chantier puisque la flèche fut remplacée en 1542 par une nouvelle structure, laquelle fut de nouveau substituée en 1747 par l'actuelle charpente à fermes et pannes.

La face d'établissage de ces fermes est située à l'ouest, ce qui suppose un levage de l'ensemble de l'ouest vers l'est. Les deux fermes principales de cet ensemble, F62 et F67 (fig. III-10), ont une composition structurale identique à celle des fermes principales du chœur, avec des faux-entraits constitués de deux pièces assemblées par tenon-mortaise au poinçon. Les pièces ont aussi de fortes sections comme celles des bois du chœur. On comprend dès lors que nous sommes dans la continuité du précédent chantier, avec des bois identiques et un modèle de ferme que l'on continue d'utiliser. Toutefois, on constate que l'emplacement et l'inclinaison des aisseliers et des contrefiches correspondent précisément à ceux des fermes principales de la nef et non à celles du chœur. Si ces fermes reprennent globalement les mêmes dispositions que celles des fermes du chœur, avec notamment des bois de fortes sections pour les poinçons, entrants et faux-entraits, le dessin du raidissement des chevrons s'est toutefois calqué sur l'épure des fermes de la nef. Pour l'expliquer, on peut avancer l'idée que, pour les besoins de ce chantier, les charpentiers ont utilisé l'une des fermes démontées de la nef comme épure en disposant les bois dessus mais en conservant le principe des fermes du chœur avec les mêmes bois. Le résultat aboutit à ce type de ferme bâtarde, une structure mixte entre les fermes du chœur et celles de la nef.

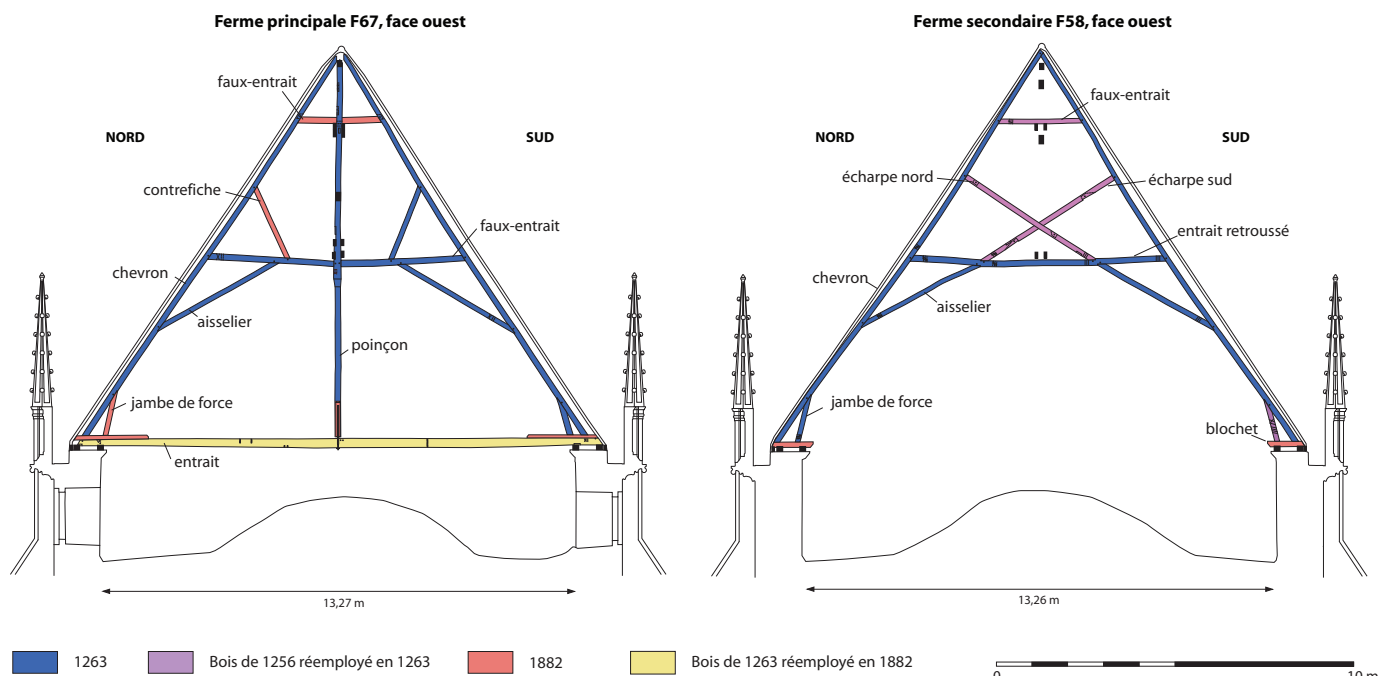


Fig. III-10 > Charpente attenante au faux-transept, ferme principale 67 et ferme secondaire 58, face ouest. [Relevé et DAO : F. Épaud.]

Fig. III-11 > Chevron de 1256 en réemploi dans la charpente de 1263. On distingue nettement les clous de fixation du lattis de la couverture et l'entaille à mi-bois pour une longrine du contreventement oblique.

Reproduisant ainsi les défauts des fermes précédentes, le poinçon est également descendu, provoquant la rupture de son assemblage de tête aux chevrons et l'infléchissement des deux éléments des faux-entraits. Comme ces derniers ne permettaient pas de maintenir le poinçon dans sa position initiale, c'est donc l'assemblage de tête du poinçon qui s'est rompu.

Les fermes secondaires de cet ensemble sont hétérogènes et possèdent, pour la plupart, les éléments en réemploi des fermes précédentes. Ces réemplois sont essentiellement des chevrons et des écharpes qui furent réutilisés en écharpes, entrants retroussés, faux-entraits supérieurs et jambes de force, c'est-à-dire exclusivement pour le raidissement secondaire et non en tant que chevrons ou faux-entraits. Ces derniers sont tous des bois verts abattus spécifiquement pour ce chantier.

Ces fermes secondaires ont une structure hétérogène qui varie selon le type de réemploi. Certaines reproduisent la structure des fermes de la nef avec d'anciennes grandes écharpes réemployées dans leur position d'origine. Les autres s'apparentent à celles du chœur, avec une petite croisée d'écharpes et des aiselières faits en réemplois et des bois verts pour le restant. Pour ces dernières, l'entrant retroussé est aussi de forte section, ce qui suppose que l'emploi des petites croisées d'écharpes est peut-être conditionné par la forte section des entrants retroussés puisqu'on ne les voit jamais associées à des entrants retroussés de section normale.

À noter enfin que parmi ces réemplois, on observe plusieurs chevrons qui portent encore sur leur face extérieure primitive des clous de fixation d'un lattis de couverture (fig. III-11). Ces clous sont disposés en rangées, d'un ou de deux, espacées en moyenne de 11,7 cm, ce qui correspond à de grandes tuiles de 35 cm de long⁵. Cette couverture de tuiles ne semble pas perdurer au-delà du milieu du XVI^e siècle où des marchés mentionnent des ardoises sur le grand comble⁶. La dernière reprise de la couverture, jusqu'à aujourd'hui, remonte à 1882 où fut appliqué le système des ardoises à crochet qui permettait son entretien.

Ces réemplois et ces traces de lattis confirment bien le démontage de fermes sur lesquelles une couverture avait été mise en place. Ce détail est important car il aurait été possible, vu la proximité des dates de mise en œuvre, que ces bois aient été taillés puis laissés en stock dans l'attente d'un levage. Les fermes de cet ensemble (F57-F67) remplacent donc bien une charpente qui a été levée quelques années seulement auparavant et qui, suite à un repentir, a été démontée.



Le type de ferme utilisé pour la charpente de la nef et du chœur, avec un raidissement basé sur une croisée d'écharpes composées d'une seule ou de deux pièces, un entrait retroussé placé sous la croisée, un faux-entrait et des jambes de force sur blochet est relativement classique pour le XIII^e siècle. Il apparaît dans la seconde moitié du XII^e avec l'émergence et la diffusion des charpentes gothiques. Ce procédé de raidissement mutuel des chevrons s'explique par la nécessité de reporter les charges d'un chevron sur l'autre en faisant annuler, par un couple de forces égales et opposées, les tensions de chaque versant. Avec une pente nécessairement forte, supérieure à 50° pour que ce dispositif fonctionne convenablement, les charges et les poussées d'un versant sont annulées par opposition avec celles de l'autre versant. Les grandes écharpes permettent donc de limiter l'écartement de la ferme, du fait de l'absence d'entrait à sa base, et de restreindre les poussées latérales sur les murs. Plus l'assemblage des écharpes est placé près du pied des chevrons, plus la reprise des poussées latérales est efficace, comme à la cathédrale de Sens.

On voit apparaître ce mode de raidissement dès 1165-1175 à Fontevraud sur le prieuré Saint-Lazare (Maine-et-Loire⁷), à la chapelle de Chanu (Eure) vers 1183-1192⁸ ou à la grange de Warnavillers (Oise) en 1190⁹. Au XIII^e siècle, il se rencontre dans de très nombreuses charpentes dans tout le Bassin parisien. L'emploi des grandes écharpes disparaît dans le courant du XIV^e siècle pour être remplacé simplement par des entrails retroussés en raison de la diffusion d'autres moyens de raidissement des fermes (pente plus forte, développement du contreventement, réduction des travées...).

LES ÉLÉMENTS LONGITUDINAUX



La charpente comprenait plusieurs dispositifs longitudinaux pour solidariser les fermes entre elles : un dispositif axial dans le plan des poinçons et un contreventement dans le plan des chevrons. Quant aux sablières, elles servaient à asseoir les fermes sur l'entablement des maçonneries.

Les sablières

En 1882, la base de la charpente fut rehaussée de 40 cm environ par l'amputation du pied des chevrons et des jambes de force. Toutes les sablières et les blochets d'origine furent donc supprimés et remplacés. Toutefois, au cours de ce chantier, certains bois déposés furent

Fig. III-12 › Chevrons moisés par des planches, garnis d'une fourrure de pièces diverses en réemploi (au centre et à droite) et chevron mis à nu pendant la restauration (à gauche).



réutilisés comme fourrure lors du moisage des chevrons (fig. III-12). Lors de la restauration de 2010, les bois de ces fourrures furent déposés et relevés un à un. Ainsi, nous avons pu repérer parmi ces réemplois deux fragments de sablières¹⁰, le premier débité dans sa longueur et conservant trois entailles à mi-bois et le second, de section complète, comprenant trois entailles à mi-bois en demi-queue d'aronde (fig. III-13). L'espace des entailles correspond à l'entrevous des fermes actuelles, de 47,8 cm en moyenne. Leur section reconstituée est de 13,5 à 14 cm de large pour 8 cm d'épaisseur mais les entailles laissées sur les entrants suggèrent qu'elles pouvaient atteindre 17 cm de large et que les sablières étaient espacées de 45 cm en moyenne. Les blochets étaient donc assemblés aux sablières par une entaille à mi-bois en demi-queue d'aronde pour la sablière externe et par une entaille droite pour la sablière interne. D'après les entailles observées sur les entrants, ceux-ci étaient assemblés aux sablières interne et externe par des mi-bois en demi-queue d'aronde, placés soit du même côté, soit de chaque côté.

Le dispositif longitudinal axial

La charpente est actuellement contreventée par un dispositif longitudinal axial fixé aux poinçons, composé d'un faitage et de grandes croix de Saint-André. Il fut mis en place en 1882 en remplacement de celui d'origine, bien plus complexe, dont subsistent de nombreuses traces. Tous les poinçons de la charpente de la nef et du chœur possèdent en effet sur leur face nord des mortaises vides et des entailles d'assemblages à mi-bois qui témoignent d'un dispositif longitudinal axial sur toute la longueur de la charpente. Ce dispositif était encore en place en 1882 comme en témoigne le réemploi de certains de ses éléments dans les fourrures des chevrons de la nef et aussi dans la passerelle actuelle qui traverse le comble, mise en place lors de ces travaux. Aucun de ces éléments n'a cependant été retrouvé dans les fourrures des chevrons du chœur. Les traces de boulonnages que l'on observe sur les assemblages de ce dispositif sur les poinçons prouvent que celui-ci avait été renforcé peu avant son démontage, certainement lors des travaux entrepris par l'architecte Pagot en 1827.

Comme pour les sablières, tous les éléments de ce dispositif retrouvés en réemploi dans les fourrures des chevrons ont été déposés, relevés et datés par dendrochronologie. Toutefois, nous regrettons que ces bois, qui étaient les derniers témoins de ce dispositif complexe, n'aient pas été conservés lors du dernier chantier de restauration alors que cet effort de préservation avait été fait en 1882.

Les traces sur les poinçons

Tous les poinçons présentent les mêmes négatifs, à savoir (fig. III-14) :

- Juste au-dessus du premier faux-entrait, sur la face nord, une entaille droite peu profonde (2 cm), percée de deux trous de cheville disposés en diagonal (fig. III-15).
- Au-dessus, une entaille oblique, profonde de 4 cm et percée de deux trous de cheville, associée systématiquement à un troisième trou de cheville, voire un quatrième, à côté de l'entaille.

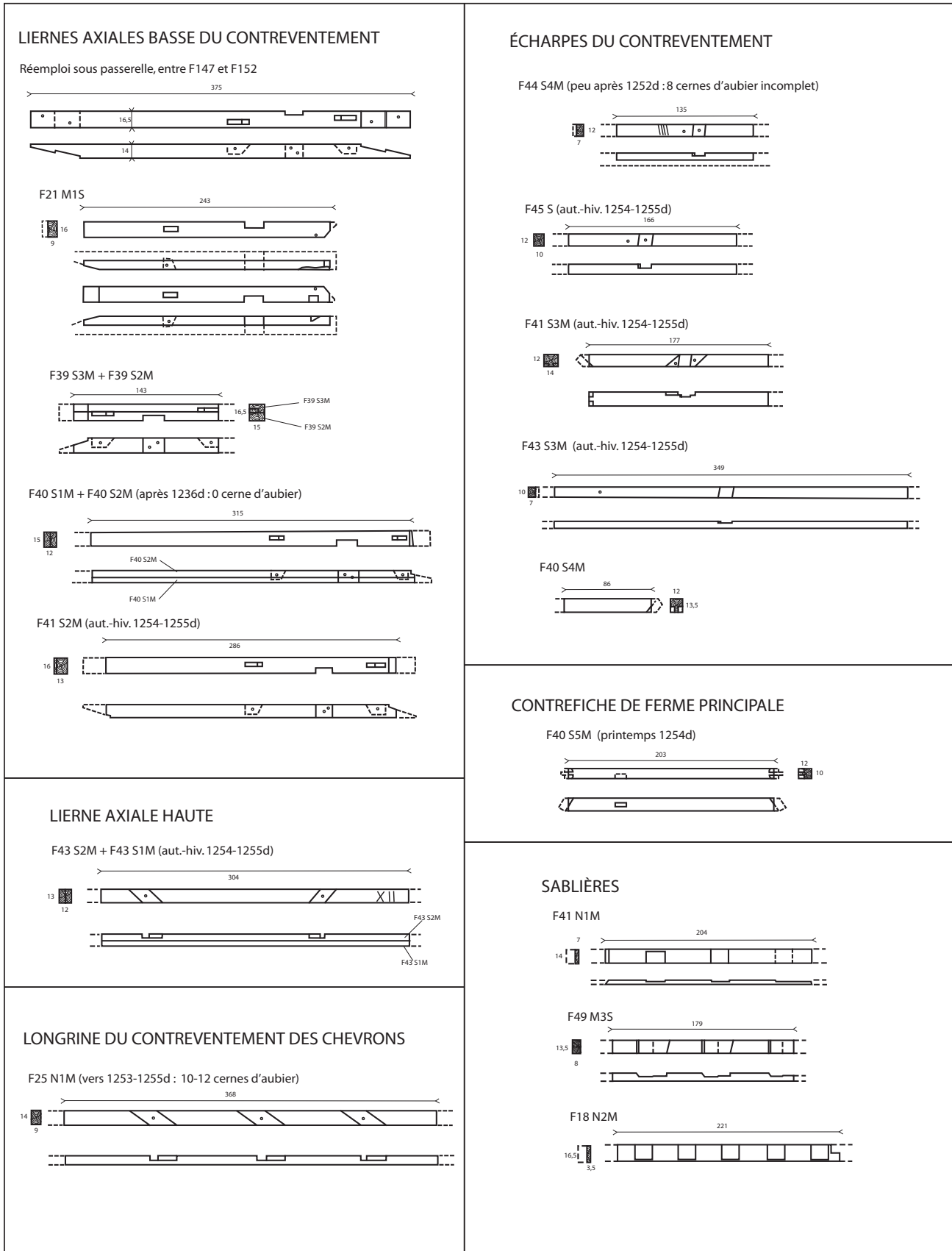
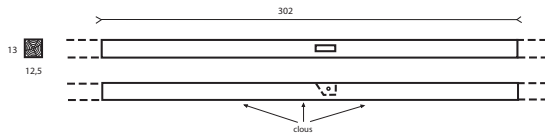


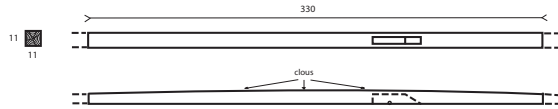
Fig. III-13 > Relevé des réemplois provenant des fourrures des chevrons.

CHEVRONS

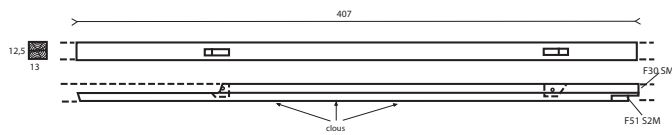
F45 M3S (peu après 1250d)



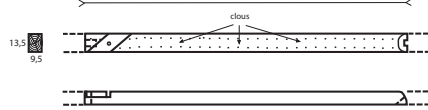
F47 S2M



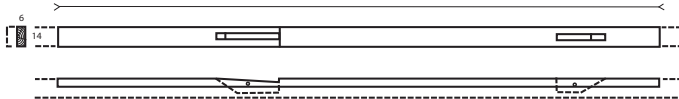
F30 SM + F51 S2M



F42 S1M

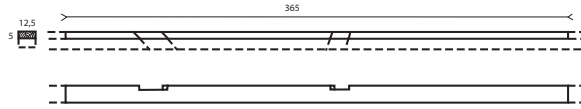


F29 S1M

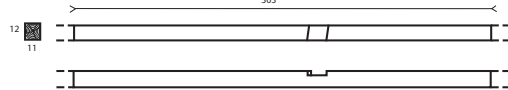


ÉCHARPES DE FERME SECONDAIRE

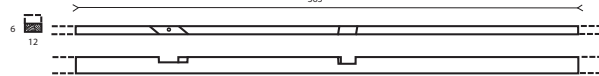
F42 S2M (aut.-hiv. 1254-1255d)



F39 S1M (printemps 1254d)

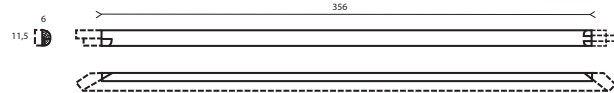


F42 S3M



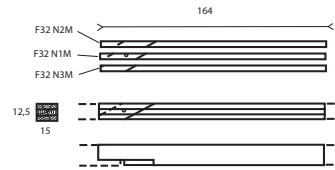
AISSELIER DE FERME PRINCIPALE

F27 N4M



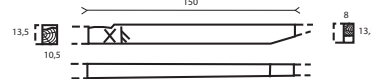
ENTRAITS RETROUSSÉS

F32 N2M + F32 N1M + F32 N3M

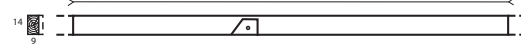


INDÉTERMINÉS

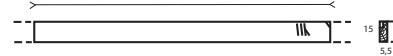
F49 M2 (après 1235d)



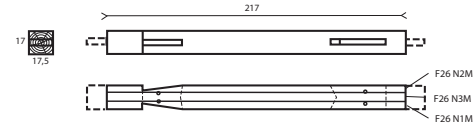
F48 N2M



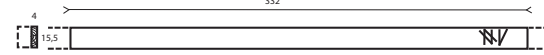
F29 N3M



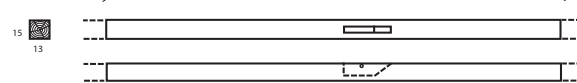
F26 N1M + F26 N2M + F26 N3M



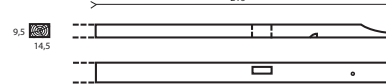
F29 N1M



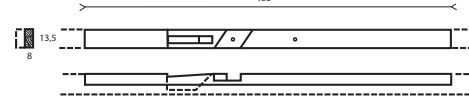
F41 S7M



F30 S4M



F32 S2M



F33 S3M

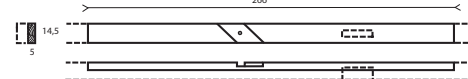




Fig. III-14 > Coupe longitudinale d'une travée actuelle à gauche et restitution à droite avec le dispositif axial.

0 5 m.

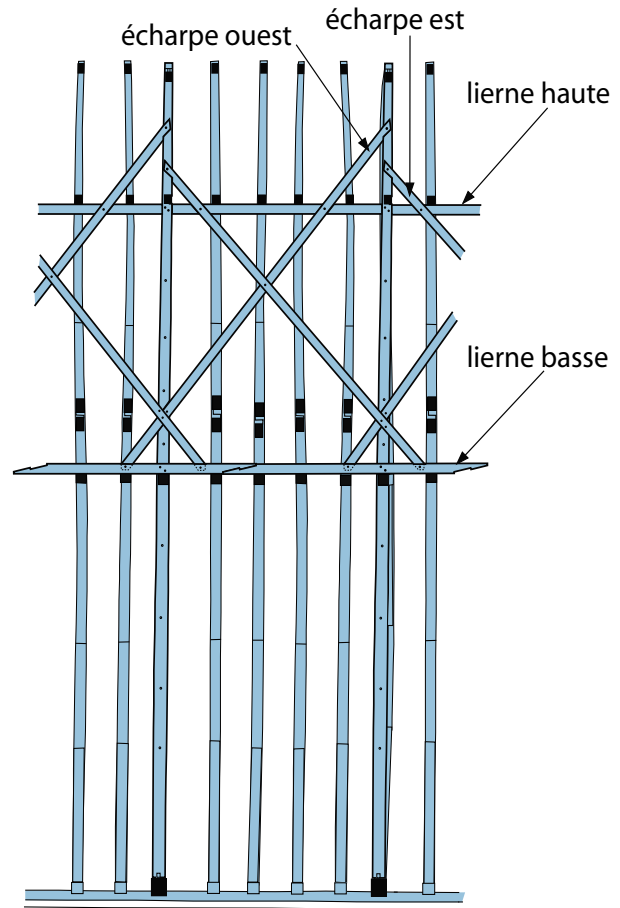
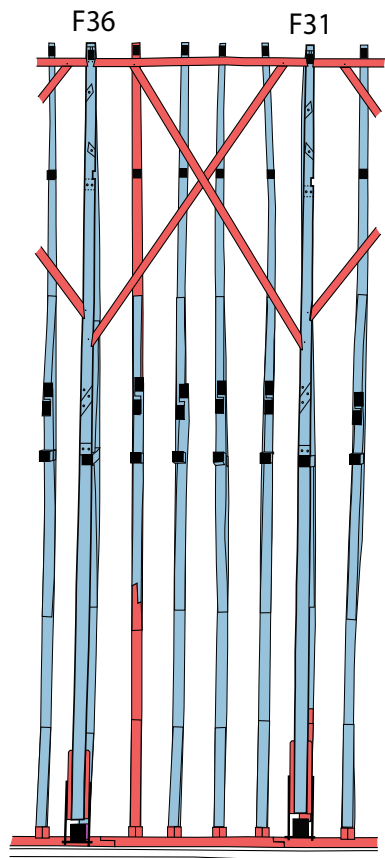


Fig. III-15 > Entailles d'assemblages à mi-bois du poinçon de F41.



Fig. III-16 > Entailles d'assemblages à mi-bois de la tête du poinçon de F17.



- Juste au-dessous du dernier faux-entrait, une mortaise traversante dans le sens est-ouest, percée de trous de cheville en diagonal.
- En partie sommitale du poinçon, sur la face nord, deux entailles à mi-bois en demi-queue d'aronde, la première, la plus basse, orientée vers l'ouest, la seconde, vers l'est (fig. III-16).

La position des entailles obliques et des deux mi-bois en haut du poinçon varie de poinçon en poinçon, ce qui témoigne de l'irrégularité des longs bois qui y étaient assemblés. Leur sinuosité se devine aussi avec les écharpes et les entrails retroussés des fermes contiguës aux poinçons qui sont parfois retaillés maladroitement pour permettre leur passage.

Sur F62 l'entaille oblique n'a pas été taillée, et sur F16 elle est inversée par rapport aux autres. De même, dans le chœur, l'entaille oblique est orientée à l'inverse de celles de la nef, ce qui indique à l'évidence un sens de montage contraire à celui de la nef, comme on l'a remarqué déjà pour les fermes.

Les réemplois et l'identification des pièces

Parmi les bois déposés provenant des fourrures, après relevés et datations dendrochronologiques, on reconnaît quatorze éléments provenant des différentes parties du dispositif que l'on peut répartir en trois catégories de pièces : les liernes basses, les liernes hautes et les écharpes (fig. III-13). On identifie les liernes basses ($14 \times 16,5$ cm) à l'entaille droite latérale destinée au poinçon, peu profonde, et aux deux mortaises désaxées pour permettre le passage des écharpes sur le poinçon et dont la gorge est inclinée vers celui-ci (fig. III-17). Une lierne basse complète de 3,75 m de long est en réemploi dans la passerelle, dans le chœur, et montre aux extrémités une enture oblique crantée à talon droit, chevillée. En tout, il est possible d'en reconstituer cinq avec le remontage des réemplois. Le sens d'assemblage des entures pour deux d'entre elles¹¹ se fait dans le sens ouest-est, avec un recouvrement de l'enture par un montage des liernes de l'ouest vers l'est, et dans le sens inverse est-ouest pour les trois autres¹². Un fragment de lierne haute (12×13 cm) a été également identifié avec ses deux entailles à mi-bois obliques pour les grandes écharpes.



Fig. III-17 > Lierne longitudinale basse provenant des fourrures (F41 S2M), datée de l'automne-hiver 1254-1255.

Cinq autres fragments, dont le plus long de 3,50 m, proviennent des écharpes. Ils comportent des entailles à mi-bois destinées à leur propre croisée et à leur assemblage au poinçon.

Restitution du dispositif

Ainsi, il est possible de reconstituer l'ensemble du dispositif (fig. III-14). À sa base, il est composé d'un cours ininterrompu de liernes basses, de 3 à 3,80 m de long, placées sur les entrails retroussés et assemblés par un mi-bois peu profond à la face nord du poinçon. Ces liernes s'aboutent entre elles par des entures obliques dont le sens d'assemblage suit celui du montage des fermes : de l'ouest vers l'est dans la nef, et de l'est vers l'ouest dans le chœur. Ces liernes sont désaxées d'une dizaine de centimètres pour permettre aux écharpes de franchir les poinçons et de s'assembler en pied par des tenons-mortaises, elles aussi désaxées. Le mi-bois qui assemble la lierne au poinçon est fixé par deux grosses chevilles disposées en diagonal de façon à limiter le risque de déchirement des fibres.

En partie haute, des liernes hautes viennent s'assembler par tenon-mortaise aux poinçons, juste sous le niveau des faux-entrails. Comme la largeur du poinçon est faible à ce niveau (14 cm en moyenne), le chevillage des tenons est, comme pour les liernes basses, en diagonal.

Deux grandes écharpes par travée, inclinées approximativement à 50°, assurent le contreventement des fermes principales. Elles s'assemblent en tête par un mi-bois en demi-queue d'aronde au poinçon, à leur croisée et à celle du poinçon par mi-bois à la lierne haute et en pied par tenon-mortaise à la lierne basse. Les écharpes s'assemblent donc entre elles par deux croisées, une à leur tiers supérieur et une seconde en pied, au droit du poinçon. Pour ce dernier assemblage, dans la nef, l'écharpe ouest (mi-bois de tête à l'ouest) est toujours assemblée à mi-bois dans le poinçon en premier et l'écharpe est de la travée suivante (en avançant vers l'est) vient s'y assembler par-dessus en second. Celle-ci est donc entaillée pour s'encastrier dans l'écharpe ouest et non dans le poinçon qui est trop en retrait. Seul un chevillage assure la fixation de l'écharpe est au poinçon, en plus de son mi-bois chevillé avec l'écharpe ouest. Dans la nef, seule F16 présente une entaille inversée à cette croisée, pour un montage écharpe est sur écharpe ouest, pour une raison qui nous échappe encore. Dans le chœur, où les fermes sont montées de l'est vers l'ouest, le sens d'assemblage des écharpes aux poinçons est inversé : c'est d'abord l'écharpe est qui s'encastre en premier dans le poinçon, auquel se superpose l'écharpe ouest qui vient la recouvrir, selon un montage progressant de l'est vers l'ouest.

Fonctions du dispositif

Ce dispositif a donc deux fonctions. La première est de contreventer la charpente en étré sillonnant les poinçons des fermes principales. Les liernes hautes et les croisées d'écharpes garantissent le maintien de l'écartement des poinçons et contribuent ainsi au contreventement des fermes principales. Les fermes secondaires, quant à elles, ne sont pas contreventées, leurs faux-entrails comme leurs entrails retroussés n'étant pas chevillés aux liernes. La seconde fonction du dispositif est de soulager les fermes secondaires grâce aux liernes hautes placées sous leurs



faux-entrails. Les liernes contribuent ainsi à les soutenir là où le tassement de la ferme est le plus manifeste. Les charges des fermes secondaires sont ainsi transmises par les liernes hautes et les écharpes aux poinçons des fermes principales. Les liernes basses, quant à elles, servent d'assise au dispositif en reprenant aussi une partie du poids et en s'appuyant sur les entrails retroussés. Les charges sont donc réparties sur les poinçons mais aussi, en partie, sur les fermes secondaires. Nous comprenons dès lors la déformation observée de la plupart des fermes de cette charpente. En effet, les poinçons ont presque tous descendu suite à la rupture de leur tête et la plupart des entrails retroussés se sont pliés au point de se briser pour certains. Ce dispositif a donc provoqué le fléchissement des premiers entrails retroussés, jusqu'à leur rupture pour plusieurs d'entre eux, et la descente des poinçons qui furent trop sollicités. La surcharge générée par le soutien des fermes secondaires et transmise aux poinçons ainsi qu'aux entrails retroussés a donc eu des conséquences graves pour la stabilité de l'ensemble des fermes. Ainsi, nous comprenons mieux pourquoi ce dispositif fut entièrement démonté en 1882 et que la charpente fut intégralement stabilisée par des moises faites de solides planches en chêne, fixées sur toutes les fermes, jusqu'en 2010 où elles furent retirées.

Ce dispositif apparaît donc relativement complexe dans sa conception. Cet agencement quasi expérimental des liernes et des écharpes ne se rencontre pas dans d'autres charpentes de ce type au XIII^e siècle. Les grandes charpentes du XIII^e présentent parfois des dispositifs de contreventement et de soulagement des fermes secondaires mais très rarement en partie haute des fermes, et encore moins en appui sur les entrails retroussés. En général, les liernes sont placées sous les entrails retroussés et sont souvent associées à des poteaux latéraux dans les fermes principales pour soulager le poinçon comme aux cathédrales de Rouen, Paris, Auxerre, Meaux. Lorsque ce transfert des charges s'opère sur le poinçon exclusivement, comme à la cathédrale Saint-Gatien et à l'église abbatiale Saint-Julien de Tours, celui-ci est parfois étayé par des sous-chevrons supplémentaires afin de renforcer la triangulation et reprendre correctement ces charges. Ici, le poinçon n'était pas soutenu et sa section était insuffisante en tête pour résister à ce surpoids, d'où leur rupture. Et l'appui du dispositif sur les entrails retroussés a fortement contribué à la déformation des fermes et à la descente des poinçons. Son démontage au XIX^e siècle semble bien signifier qu'il n'était plus en état d'être conservé.

Le contreventement des chevrons

Description des traces et restitution

La découverte et la dépose des moises en 2010-2014 ont permis d'observer sur la face extérieure des chevrons des entailles d'assemblages à mi-bois, chevillées à l'origine, sur toute la longueur de la charpente et sur les deux versants (fig. III-18). Ces mi-bois, de 3 cm de profondeur et 14 cm de largeur, servaient à la fixation de longrines, aujourd'hui disparues¹³, assemblées dans le plan du chevronnage, disposées de façon symétrique sur chaque versant de part et d'autre du faitage, avec une inclinaison de 38 à 42° (fig. III-19 planche A3). Ces longrines s'assemblent en pied dans le flanc du chevron par un tenon-mortaise et en tête par un mi-bois en demi-queue d'aronde, au plus haut des chevrons, jusqu'à ce que leur section permette la taille de l'assemblage.

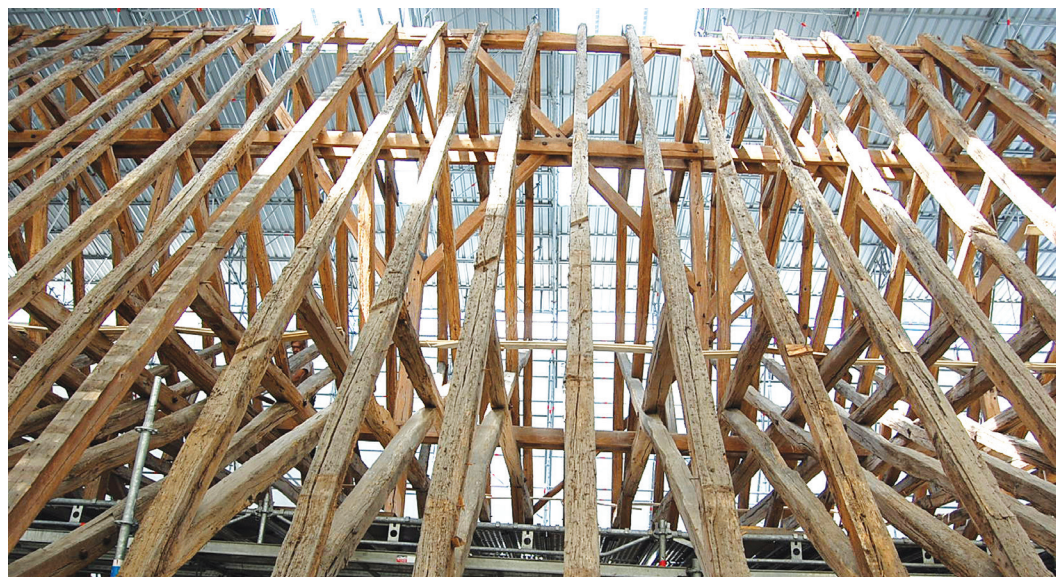


Fig. III-18 › Entailles à mi-bois en face supérieure des chevrons, après dépose des fourrures, pour un contreventement oblique.

Dans la nef, le pied des longrines qui se succèdent s'assemble sur le même chevron alors que dans le chœur elles sautent systématiquement un chevron. Leur tête s'assemble par contre aléatoirement sur le même chevron, sur deux chevrons contigus ou bien une tête sur l'autre selon la longueur des bois. Il faut noter aussi que les premières longrines du chœur ont été disposées en partie haute de la ferme de croupe dans le but de contreventer cette dernière.

Pour la charpente d'origine située entre les deux tours, remaniée au XIX^e siècle, un chevron d'une des fermes secondaires, réemployé dans F16, montre en partie haute un mi-bois en demi-queue d'aronde de tête pour une longrine partant vers l'ouest, inclinée vers le bas, qui atteste que ces travées étaient aussi contreventées par une longrine, et vraisemblablement sur les deux versants, comme pour les travées suivantes. Les réemplois provenant de la partie de la nef remaniée en 1263 attestent bien de la présence de longrines sur ces travées à l'origine en 1256 (en pointillé sur le plan). On reconnaît en effet, parmi ces réemplois, des parties de chevrons possédant une entaille à mi-bois en face externe¹⁴ pour une longrine, et surtout un fragment de longrine¹⁵, de 9 × 14 cm de section, comportant trois mi-bois obliques destinés aux chevrons et daté par dendrochronologie vers 1253-1255. Ces bois attestent bien l'origine du dispositif dès la mise en œuvre de la charpente en 1256. Toutefois, les fermes mises en place en 1263 à l'issue du remaniement ne présentaient pas de longrines de contreventement dans le plan du chevronnage.

D'après ces réemplois, nous suggérons que les travées F57-F67 étaient à l'origine contreventées avec des longrines disposées à la suite de celles de la nef. Pour les travées suivantes (F67-F107), on constate qu'avec des longrines disposées dans la continuité des précédentes, il n'est pas possible de contreventer toutes les travées. La dernière (F102-F107) n'était donc vraisemblablement pas contreventée. Cette anomalie résulterait du raccord des charpentes de la nef et du chœur, levées dans le sens inverse, et des difficultés d'anticiper dès le début du chantier le recouvrement des dernières travées sur une telle longueur.



Mise en œuvre

Une longrine couvre le chevronnage de trois travées maximum, sur une quinzaine de fermes. La symétrie du dispositif de versant à versant, par rapport à l'axe longitudinal, témoigne d'une mise en œuvre commune des longrines sur les chevrons nord et sud. Leur exécution et la taille des assemblages à mi-bois des chevrons ont été effectuées une fois que les fermes furent réalisées. En effet, les mi-bois de certains chevrons¹⁶ recoupent parfois des marques d'assemblages, prouvant que la ferme avait déjà été entièrement exécutée au moment de la taille de ces mi-bois. Lors du chantier, on aurait disposé au sol sur l'aire d'épure la quinzaine de chevrons d'un même versant, côte à côte et face interne contre terre, selon leur espacement prévu au niveau des sablières, afin de présenter¹⁷ leur longrine. Celle-ci aurait été disposée sur les chevrons selon l'emplacement et l'inclinaison la plus judicieuse de façon à éviter la superposition des mi-bois aux assemblages des chevrons. Les mi-bois furent alors tracés et taillés. La même opération fut renouvelée pour les chevrons du versant opposé, puis pour ceux des travées suivantes.

Le levage des longrines fut effectué après le montage des fermes, en les faisant glisser par des cordages le long du versant pour les disposer dans leurs assemblages, tout en jouant sur la flexibilité des chevrons pour les insérer dans leur mi-bois.

Fonction

Comme nous l'avons vu précédemment, le dispositif longitudinal axial n'étrésillonne que les fermes principales, laissant les fermes secondaires indépendantes. La mise en place des longrines sur les chevrons avait donc pour fonction de compenser ce défaut en contreventant toutes les fermes dans le plan des versants. Leur étrésillonnement par ces longrines permettait de restreindre le risque de déversement longitudinal de la structure et de limiter la flexibilité du chevronnage. En effet, la grande hauteur des fermes donne une grande élasticité aux chevrons qu'il est facile de mouvoir d'une main lorsque le lattis n'est pas encore fixé¹⁸. Ce contreventement assure ainsi une stabilité sur le long terme mais aussi une sécurité lors du montage des fermes dans l'attente de la fixation du lattis.

Toutefois, ce dispositif présente des défauts et ne permet pas de stabiliser l'ensemble des fermes avec la même efficacité. Du fait de la symétrie des longrines par rapport au faitage, les fermes qui sont raidies au pied restent instables et ne bénéficient donc pas du même soutien que celles qui sont contreventées en parties haute et médiane.

La majorité des charpentes antérieures au milieu du XIII^e siècle ne sont pas contreventées, le lattis de la couverture assurant seul le maintien des fermes, même pour de grandes structures à forte pente (cathédrales de Bayeux, de Lisieux, de Sens...). Le contreventement des fermes est encore considéré au milieu du XIII^e siècle comme une précaution inutile puisque le lattis assure convenablement cette fonction et que le dévers des fermes ne peut se produire que lorsque le lattis est détérioré ou lors du renouvellement de la couverture.

Cette technique du contreventement des chevrons est peu répandue au XIII^e siècle. Le plus ancien témoignage est celui de la cathédrale de Poitiers dès la fin du XII^e siècle¹⁹ et les rares exemples recensés au XIII^e sont en région Centre comme sur la maison 13 rue des Changes à Chartres vers 1270²⁰ ou encore dans l'église de Morogues, près de Bourges, de la seconde moitié du XIII^e siècle. Pour cette raison, cette technique fut longtemps considérée comme un rajout des XV^e-XVI^e siècles, puisqu'elle est plus fréquente sur les charpentes de cette période dans les pays ligériens.

LA CROUPE ABSIDIALE

La croupe semi-circulaire qui termine la charpente à l'est a été reconstruite lors des travaux entrepris entre 1882 et 1887 par l'architecte Paul Boeswillwald (fig. III-20). Pour rappel, ce chantier consistait à restaurer la base de la charpente en amputant le pied des fermes, relevant ainsi de 40 cm le niveau des sablières au-dessus d'une nouvelle corniche et supprimant les anciennes sablières qui étaient dégradées suite à la reprise des chéneaux en 1835. À cette occasion, la croupe absidiale du XIII^e siècle fut démontée et remplacée par l'actuelle structure.



Comme pour ses autres interventions, Boeswillwald entreprit ce chantier avec un souci réel de conservation et de respect de la charpente médiévale. Il réemploya ainsi un maximum des bois du XIII^e siècle et restitua une charpente aussi proche que celle d'origine. En effet, sur les autres parties de ce vaste chantier, Boeswillwald réemploya de façon quasi systématique les bois d'origine déposés, comme les éléments du contreventement dans les fourrures des chevrons ou bien dans les fermes de la travée occidentale de la nef, elles-mêmes restituées sur le modèle des fermes gothiques. Ainsi, la totalité des chevrons de la croupe actuelle fut réemployée comme chevrons, ainsi que les entrails retroussés. Quelques autres pièces d'origine furent également réemployées dans la structure actuelle que nous détaillerons ci-après. Ainsi, en dépit du démontage complet de la croupe gothique, il est aujourd'hui permis d'en proposer sa restitution avec fiabilité.

Fig. III-20 > Vue de la croupe absidiale mise à nue.



La croupe actuelle

La structure de la croupe actuelle s'inspire de celle du XIII^e siècle, selon le principe d'une charpente à chevrons-formant-fermes, c'est-à-dire avec des chevrons assemblés à des raidisseurs pour constituer des demi-fermes. Elle comprend une ferme principale de croupe, trois demi-fermes principales et vingt-huit demi-fermes secondaires, avec des raidisseurs répartis en trois enrayures. Nous renvoyons le lecteur aux relevés de cette croupe pour suivre la description générale de cette structure relativement complexe (fig. III-21 planche A3).

La ferme de croupe est constituée d'un entrain, d'un poinçon de fond, d'un couple de chevrons raidis par deux niveaux de faux-entrains, dont le premier est moisé, deux contrefiches et deux aisseliers. Un couple de décharges obliques, assemblées en pied dans une semelle en appui sur l'entrain et en tête au poinçon, vient renforcer la triangulation de la ferme. Le poinçon, taillé dans un bois de 30 × 30 cm de section, sert à l'assemblage des trois enrayures et comporte d'importants ressauts pour les recevoir alors que les arêtes du fût sont chanfreinées. Les trois demi-fermes principales, réparties à chaque quart du rond-point, sont constituées comme une moitié de ferme de croupe avec, à leur base, pour la demi-ferme d'axe, un demi-entrain et, pour les deux autres, un coyer assemblé à un gousset. Leurs raidisseurs s'assemblent dans le poinçon de la ferme de croupe avec, là aussi, un demi-faux-entrain moisé pour la demi-ferme d'axe et des coyers pour les deux autres. Enfin, les demi-fermes secondaires qui complètent la croupe, au nombre de sept par quart du rond-point, sont chacune raidies par une jambe de force en pied, un coyer plus ou moins long, un aisselier, une contrefiche et, pour seulement quatre d'entre eux, un faux-entrain en tête.

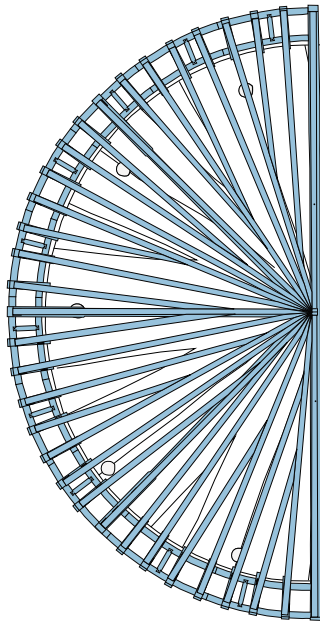
Les réemplois

Tous les chevrons des demi-fermes secondaires sont des réemplois de chevrons d'origine, complets pour la plupart et reconnaissables à leurs mortaises vides et aux clous de lattis qui recouvrent leur ancienne face extérieure. Certains présentent de longues mortaises latérales destinées à des empanons (chevrons latéraux²¹). Ces derniers, également en réemploi, se reconnaissent à leur tête taillée en biais et leur très long tenon. Tous ces chevrons possèdent en face interne trois à quatre mortaises, selon la longueur de la pièce, réparties aux mêmes espacements et destinées aux raidisseurs.

Les jambes de force, les contrefiches et les aisseliers des demi-fermes secondaires sont également des réemplois mais ils ne possèdent presque aucune mortaise ou entaille vide en raison de leur courte longueur. On reconnaît également quelques bois d'origine réutilisés çà et là dans les enrayures, notamment des goussets et des anciens raidisseurs comme des décharges obliques. Enfin, le réemploi de l'entrain de la ferme principale de croupe, dans sa position initiale, permet de restituer la première enrayure. Les marques d'assemblage relevées sur ces bois, et particulièrement sur les chevrons, ne sont malheureusement pas assez nombreuses pour aider à la restitution de la structure. Elles permettent néanmoins de reconnaître un système de numérotation propre à la croupe, avec un marquage à la rainette évoluant de 1 à 16, de la ferme de croupe à la demi-ferme d'axe et, pour l'autre moitié, un marquage identique avec contremarque en langue de vipère.

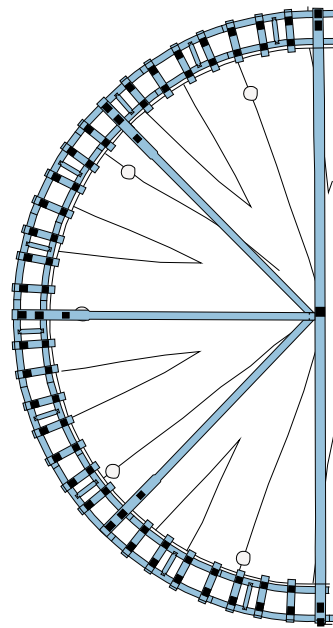


Plan du chevonnage

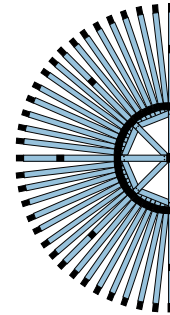


Première enrayure

F162



Deuxième enrayure



Troisième enrayure



Axonométrie des empanons (en bleu)
assemblés aux demi-fermes (en rouge)

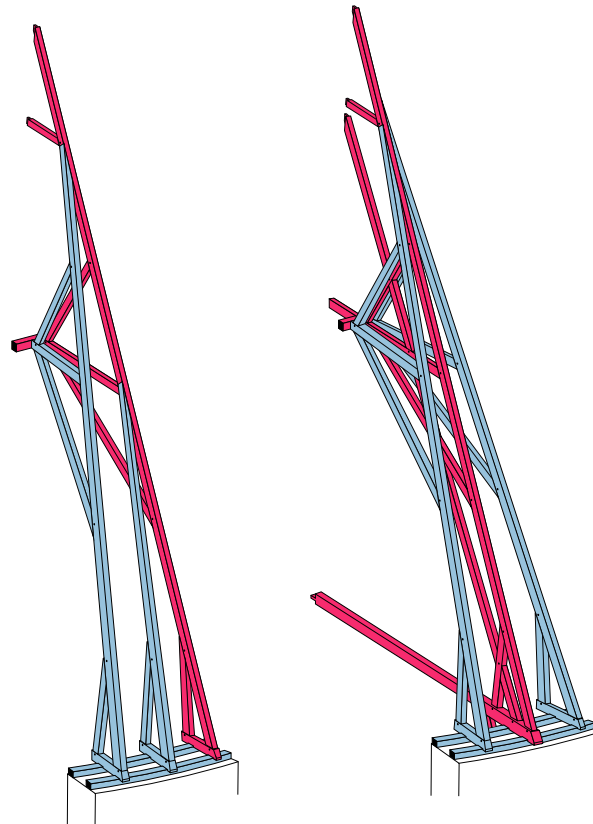
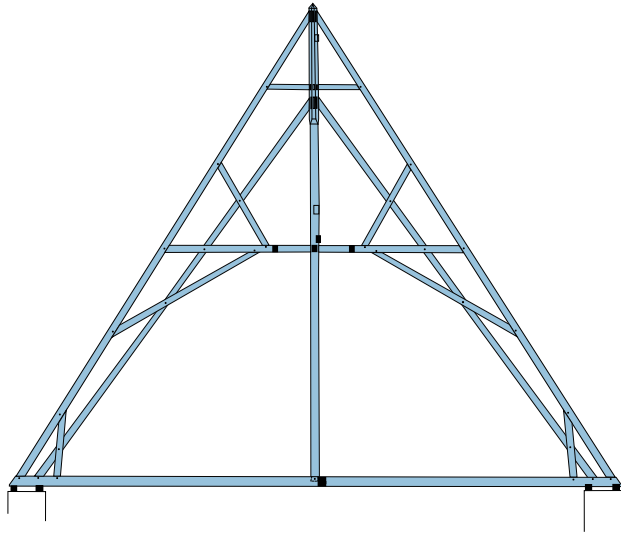


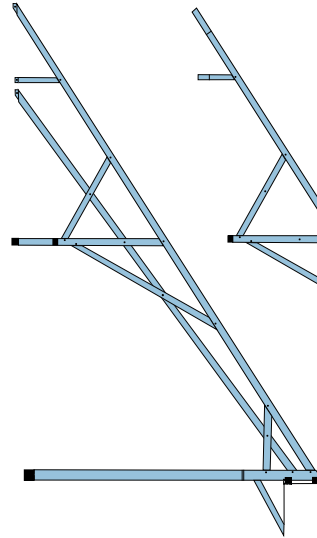
Fig. III-22 > Plans et coupes de la croupe restituée de 1257.



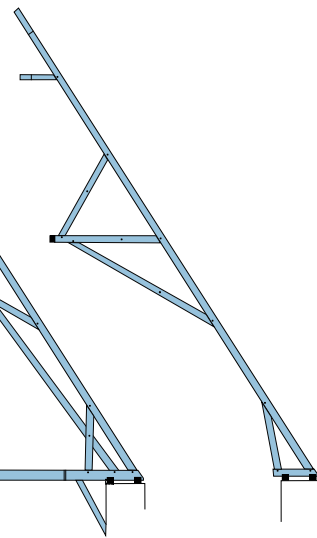
Ferme principale de croupe, face est



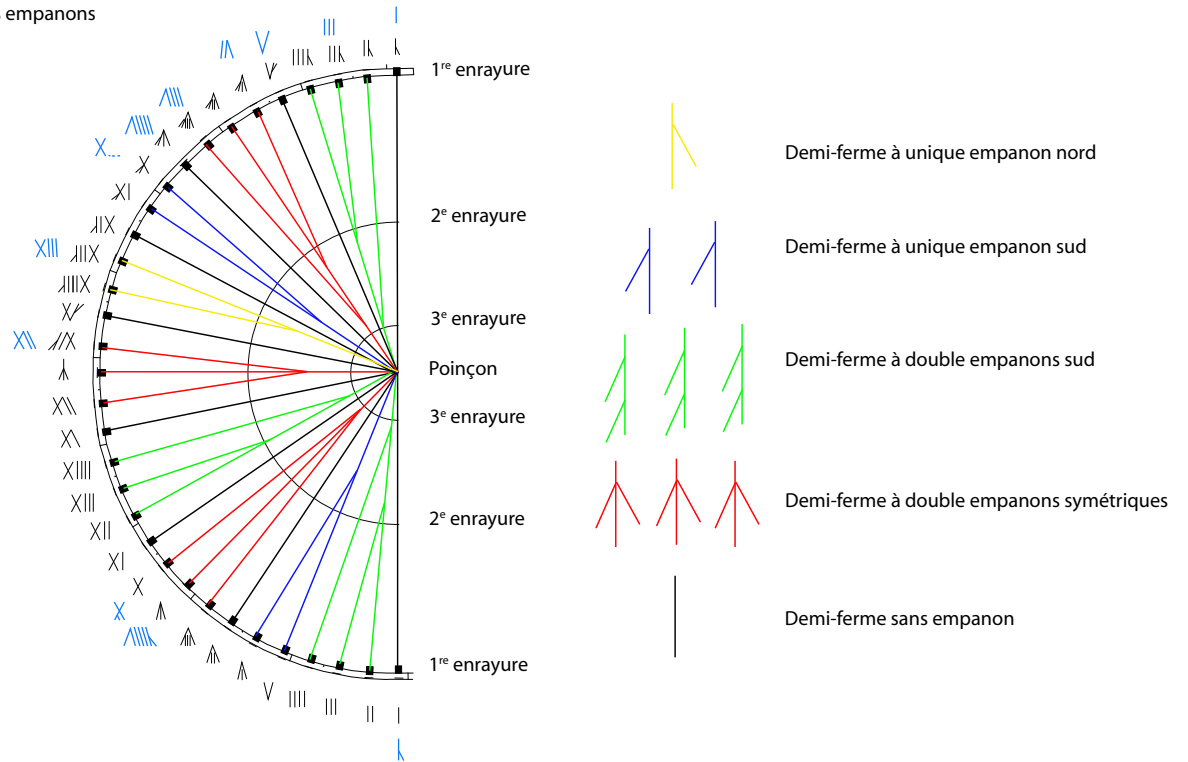
Demi-ferme principale axiale



Demi-ferme secondaire



Répartition des demi-fermes avec leurs empanons



Les nombreux réemplois, avec leurs entailles et mortaises vides, permettent de proposer une restitution de la charpente de la croupe d'origine avec une certaine fiabilité puisqu'il n'existe qu'une seule combinaison possible.

La croupe d'origine

La croupe semi-circulaire du XIII^e siècle reprend presque à l'identique la structure générale de sa copie du XIX^e (fig. III-22). Il s'agit d'une structure à chevrons-formant-fermes comprenant une ferme principale de croupe, trois demi-fermes principales, disposées à chaque quart du rond-point, et vingt-huit demi-fermes secondaires, soit sept demi-fermes par quartier. Trois enrayures assurent l'assemblage des raidisseurs du chevronnage à la ferme principale de croupe.

La ferme principale de croupe reproduit la structure des fermes principales du chœur avec un entrait, un poinçon de fond, un couple de chevrons raidis par deux jambes de force, deux niveaux de faux-entraits, deux contrefiches et deux aisseliers. Deux décharges obliques, assemblées en pied dans l'entrait et en tête aux flancs du poinçon, viennent renforcer la triangulation de la ferme, en doublant les assemblages des raidisseurs et en comprimant le poinçon en tête pour l'aider à suspendre l'entrait, de très forte section (30 × 28 cm à mi-portée et 24 × 24 cm en bout).

Les trois demi-fermes principales qui départagent le rond-point en quartiers reproduisent la moitié de la ferme principale de croupe, avec un demi-entrait, une longue décharge oblique et un chevron raidi par une jambe de force, deux demi-faux-entraits, un aisselier et une contrefiche. À leur base, au niveau de la première enrayure, seul le demi-entrait de la demi-ferme d'axe est assemblé directement à l'entrait principal, celui des deux autres demi-fermes venant se tenonner au demi-entrait d'axe. Un aisselier vient soulager leur extrémité pour transmettre les charges sur le mur. Constituant les deux enrayures supérieures, leurs demi-faux-entraits s'assemblent directement au poinçon de la ferme principale. Ceux de la deuxième enrayure sont disposés comme ceux de la première, avec une fixation du demi-faux-entrait d'axe directement dans le poinçon alors que les deux autres le sont dans le flanc de ce dernier.

Enfin, les demi-fermes secondaires, au nombre de sept par quartier, sont chacune raidie par une jambe de force en pied, un coyer, un aisselier, une contrefiche et un faux-entrait en tête. Le coyer, relativement long, vient s'assembler dans un gousset, lui-même tenonné aux flancs des demi-entraits. L'enrayure ainsi constituée se révèle donc particulièrement compacte, avec une distribution rayonnante des demi-entraits rapprochés, qui sont jointifs et taillés en biseau à l'extrémité.

La grande particularité de cette croupe, et ce qui en fait véritablement son originalité, est la présence, sur le flanc de plusieurs chevrons, de longues mortaises destinées à l'assemblage d'empanons, c'est-à-dire de chevrons latéraux plus courts. On reconnaît au moins trois chevrons assemblés à un unique empanon, trois autres tenonnés chacun à deux empanons sur le même flanc sud et trois autres assemblés chacun à un empanon sur chaque flanc, formant une sorte de fourche en trident (fig. III-22). La répartition de ces chevrons doublés ou triplés devait être régulière avec des chevrons dépourvus d'empanon intercalés entre ces derniers. Ce dispositif ingénieux d'assemblage des chevrons permet de limiter l'encombrement des têtes



des 31 chevrons du rond-point en partie haute tout en favorisant leur stabilité. La plupart de ces empanons, malgré leur longueur réduite, sont tout de même raidis par la deuxième enrayure mais leur tête n'atteint presque jamais la troisième enrayure, libérant ainsi le sommet de la croupe. Pour les plus courts, c'est-à-dire pour ceux qui sont assemblés à la hauteur de la deuxième enrayure, c'est leur assemblage de tête qui garantit leur maintien.

On constate que la majorité de ces empanons s'assemblent sur le flanc sud (face droite) de leur chevron porteur, ce qui suppose que le levage a dû s'effectuer du nord du rond-point vers le sud, en suivant un déplacement dans le sens horaire. En effet, on ne peut mettre en place ces demi-fermes qu'en disposant en priorité le chevron porteur pour ensuite y assembler les chevrons latéraux.

Comparaison avec d'autres croupes du XIII^e siècle

Les croupes du XIII^e siècle sont rares, encore plus sur les grands édifices. Elles sont en général remaniées, voire remplacées dès la fin du Moyen Âge ou lors des grandes restaurations du XIX^e siècle, voire encore aujourd'hui, comme à la cathédrale de Bayeux où la croupe du XIII^e siècle a été entièrement démontée sans aucun relevé ni étude archéologique préalable. Par ailleurs, les études de charpentes s'intéressent peu aux croupes et les récentes publications sur les typologies de charpentes ne les mentionnent pas. Certaines études de grandes charpentes sont même parfois dépourvues de photo et de relevé de la croupe. Leur recensement reste donc à faire et les rares que nous pouvons citer à titre d'exemple de comparaison ne sont documentées que pour très peu d'entre elles.

Les croupes de petites dimensions ne peuvent être prises en compte pour des comparaisons en raison de leurs faibles portées et des poussées limitées de leur chevronnage. Pour ces raisons, celles-ci ne possèdent ni enrayure ni empanon et présentent des chevrons raidis uniquement par une jambe de force, comme celles des églises de Cour-Cheverny, vers 1159d, et de Monthou-sur-Cher, vers 1172d, dans le Loir-et-Cher²². Pour celles des églises Saint-Symphorien de Tours (Indre-et-Loire) vers 1180d, de Saint-Pierre à Chartres (Eure-et-Loir) en 1189d et de Mennetou-sur-Cher (Loir-et-Cher) vers 1216d²³, la présence d'une voûte d'abside bombée explique l'absence d'enrayure à la base des demi-fermes et la mise en place de systèmes de contrebutement plus ou moins complexes, voire improvisés. On constate aussi que ces petites croupes situées en région Centre ont toutes la particularité de présenter, en tête du poinçon, un important bossage pour l'assemblage des chevrons alors qu'il ne se rencontre pas ailleurs.

Concernant les croupes à chevrons-formant-fermes des grandes absides, nous connaissons celles des cathédrales de Beauvais (chœur 1258d), de Meaux (chœur 1224d²⁴), de Paris (chœur vers 1220d²⁵), d'Auxerre (chœur 1236d), de Bayeux, (chœur 1228d). De dimensions moins importantes, retenons celles des églises de Vétheuil – Val-d'Oise – (chœur 1210-1212d²⁶), de Moret-sur-Loing – Seine-et-Marne²⁷ – (chœur vers 1215d) et de Gonesse – Val-d'Oise²⁸ – (chœur 1211d), fortement modifiée au XIV^e siècle. Celles des cathédrales de Tours (chœur 1255-1265d) et d'Amiens (chœur 1285d) sont des structures utilisant des pannes avec, donc, une simplification des enrayures et du dispositif de soutien des chevrons qui n'autorise aucune comparaison.

Parmi ces exemples, en règle générale, les grandes croupes à chevrons-formant-fermes montrent des demi-fermes rayonnantes dont la structure reproduit celle des fermes des travées droites de la charpente, avec des demi-fermes secondaires et des demi-fermes principales qui délimitent les quartiers du rond-point. L'enrayure des demi-entraits, situés au pied des demi-fermes principales, travaille en traction et contribue à limiter l'écartement de la base de la croupe. Les demi-entraits rayonnants sont assemblés soit directement à l'entrait de la ferme principale de croupe, soit au moyen de petits goussets qui permettent d'éviter la concentration des assemblages à un seul endroit. Pour les enrayures supérieures des demi-entraits retroussés et des demi-faux-entraits, la forte concentration de ces derniers oblige là aussi l'utilisation de goussets, souvent de courte longueur et au plus près du poinçon. Pour limiter cet encombrement, des demi-fermes sont réduites à de simples empanons, dont la tête, taillée en pointe, vient se fixer par clouage au flanc des chevrons.

Les poussées générées par la croupe sont relativement importantes et peuvent provoquer le déversement des fermes des travées droites limitrophes comme sur le chœur de la cathédrale de Meaux où le dispositif longitudinal de soutien des fermes n'a pas pu compenser ces fortes poussées. Lorsque les charpentes sont pourvues de dispositifs longitudinaux comme des liernes et des liens obliques de contreventement (cathédrales de Paris, Rouen, Auxerre, Beauvais), il est probable que ceux-ci aient contribué à la stabilité des fermes en absorbant les poussées de la croupe. Cependant, dans celles qui en sont dépourvues (cathédrales de Bayeux et de Sens), les fermes limitrophes n'ont pas été poussées par la croupe, ce qui semble démontrer que les charpentes pouvaient être dispensées de ce type de contrebutement.

Dans de rares cas, on constate que les dispositifs de contrebutement de la croupe ont été rajoutés tardivement comme à Gonesse et à Moret-sur-Loing, un siècle plus tard, au XIV^e siècle. Ainsi, celui de la croupe de la cathédrale de Paris mériterait une étude à part entière pour bien attester son origine. Il se présente sous la forme d'une grande longrine longitudinale axiale, se prolongeant dans la travée droite voisine et sur laquelle s'appuient de longs étais contrebutant le poinçon²⁹. On retrouve ce même dispositif à la cathédrale de Beauvais, bien daté de la phase primitive de 1258d³⁰ et à l'église de Bessancourt (Val-d'Oise), vraisemblablement d'origine aussi, du milieu du XIII^e siècle³¹.

La croupe de la cathédrale de Bourges s'inscrit donc en partie dans cette famille de structures à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle avec ses enrayures compactes de nombreux demi-entraits rayonnants et à petits goussets, et aux demi-fermes reproduisant la disposition de pièces des fermes des travées droites. L'absence de contrebutement spécifique à la croupe n'est pas une caractéristique propre au XIII^e siècle. La présence, à l'origine, dans les travées droites, des liernes longitudinales axiales et des grandes écharpes de contreventement, suffisait certainement à compenser les poussées de la croupe et ainsi à la stabiliser puisque les fermes limitrophes n'ont pas été déversées. Cette croupe se distingue toutefois par l'assemblage des empanons dans le flanc des chevrons des demi-fermes, formant ces couples et triplés de chevrons, uniques à notre connaissance en France, toutes époques confondues. Il peut s'agir d'une technique expérimentale restée méconnue, mais vu le peu d'études faites sur les croupes du XIII^e siècle, il est probable que d'autres exemples subsistent.

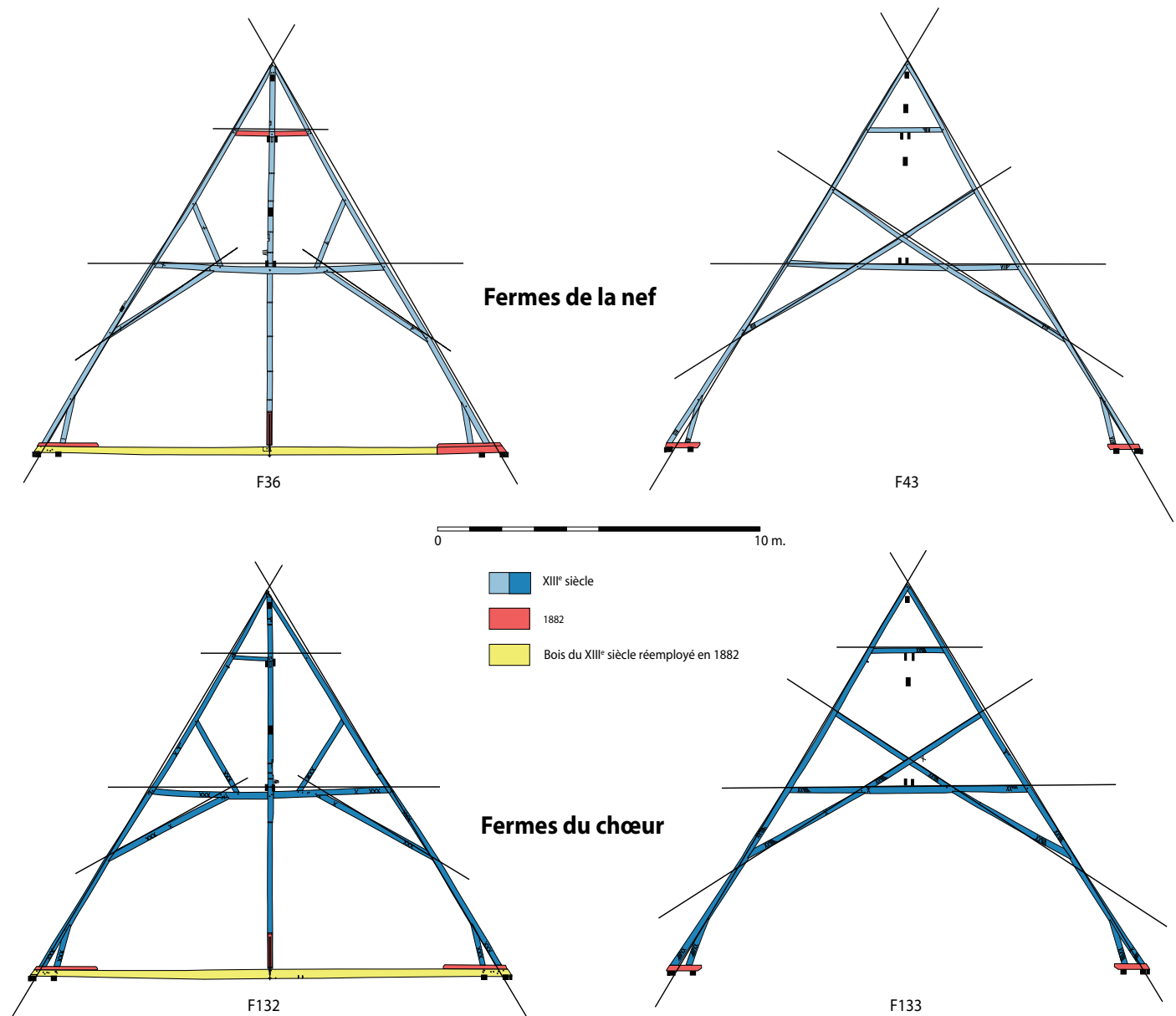


Fig. III-23 > Superposition des relevés des fermes avec leur tracé d'épure.

LES DÉFORMATIONS DE LA CHARPENTE

Comme nous l'avons constaté précédemment, toutes les fermes sont déformées de façon plus ou moins marquée, selon le type de ferme (fig. III-23). Ces déformations sont particulièrement évidentes quand on superpose le relevé précis de ces fermes, réalisé au tachéomètre laser, avec une restitution de leurs tracés d'épure, définis par la face supérieure des chevrons et des entrails retroussés. Ces tracés sont restitués à partir des points indéformables des fermes, en remplaçant la base des fermes 40 cm plus bas et en considérant que les chevrons et entrails retroussés étaient droits au moment de leur exécution et de leur assemblage au sol.



Fig. III-24 > Fléchissement des chevrons de la nef.

Ces déformations ont pu intervenir à différents moments : dès le levage des fermes avec un fléchissement naturel des chevrons, en raison de leur longueur et de leur flexibilité, après un certain laps de temps suite aux défauts de conception et au vieillissement de la structure et enfin suite à la reprise des pieds de ferme au XIX^e siècle.

Pour les fermes secondaires, que ce soient celles de la nef, du chœur ou de la partie remaniée de la nef en 1263, on observe que les pieds se sont fortement écartés vers l'extérieur. La déformation des chevrons accuse pour certains une flèche³² de 20 cm (fig. III-24). Les écharpes n'ont pas pu limiter cette déformation et ont plié également en partie inférieure, avec une flèche de 10 à 14 cm. Dans le chœur, ce sont les aisseliers qui se sont déplacés vers l'extérieur, entraînés par l'écartement des chevrons.

Toujours dans les fermes secondaires, on observe que les entrails retroussés ont aussi pliés dans la nef, avec une flèche vers le bas de 8 cm en moyenne en partie centrale. Dans le chœur, où la section est bien plus forte, ces entrails retroussés sont restés stables et ne se sont pas déformés. La partie haute des fermes secondaires, raidie par le faux-entrait, est également restée stable.

Concernant les fermes principales, que ce soit dans la nef ou le chœur, elles sont toutes victimes des mêmes perturbations structurelles, à savoir une descente d'une dizaine de centimètres du poinçon ayant entraîné la rupture de l'assemblage de tête aux chevrons. Soit les mortaises destinées aux chevrons se sont cassées (fig. III-9), soit le poinçon s'est déchiré dans le sens longitudinal des fibres (fig. III-25). Dans la nef où le premier faux-entrait est d'une seule pièce, celui-ci présente une très forte flèche vers le bas au droit du poinçon, lorsqu'il ne s'est pas brisé. En partie haute des fermes, le second faux-entrait a presque systématiquement été retiré lors des restaurations du XIX^e siècle, ce qui suppose qu'ils étaient tous brisés ou bien sortis de leur mi-bois du poinçon. Dans le chœur et pour certaines fermes de la partie orientale de la nef où les faux-entrails sont constitués de deux pièces, ces derniers sont fortement inclinés en partie centrale de la ferme, entraînés par la descente du poinçon. Quant aux chevrons, qui sont assemblés en pied dans l'entrait, ils n'ont pas subi d'aussi fortes déformations que ceux des fermes secondaires. On observe tout de même que ceux de la nef se sont ployés comme un S. Dans leur moitié supérieure, ils ont plié vers l'intérieur de la ferme avec une flèche importante de 10 cm en moyenne, alors que dans leur moitié inférieure ils se sont bombés vers l'extérieur, avec une moindre flèche de 5 cm en moyenne. Dans le chœur et pour certaines fermes de la partie orientale de la nef, où là aussi les faux-entrails sont faits de deux pièces, les chevrons ont pliés sur toute leur longueur, avec une flèche de 15 cm, ou sur une partie seulement selon les fermes.

La descente du poinçon suppose que l'entrait, situé à la base de toutes ces fermes, aurait dû être fléchi ou rompu. Tous les entrails d'origine furent pourtant réemployés en 1882 dans leur

Fig. III-25 > Rupture du poinçon de F51.

position d'origine, avec pour certains une extrémité amputée. La flexibilité de ces entrails, vu leur grande portée, ne permet pas aujourd'hui de savoir s'ils ont subi des déformations mais nous supposons qu'ils devaient accuser un certain fléchissement.

Les causes de ces déformations tiennent pour une grande part au contreventement axial d'origine qui était fixé aux poinçons et qui s'appuyait sur les entrails retroussés. Son démontage au XIX^e siècle serait donc justifié. Par ailleurs, le pourrissement des pieds de ferme qui a entraîné leur reprise en sous-cœuvre en 1882 a vraisemblablement accéléré l'écartement des bases de nombreuses fermes.

Concernant le contreventement longitudinal axial, nous avons vu précédemment qu'il s'appuyait sur les entrails retroussés et que ses écharpes étaient assemblées aux poinçons. En partie haute, il reprend les charges des fermes secondaires en soutenant leurs derniers faux-entrails. En conséquence, l'ensemble des charges circulant dans ce dispositif (poids des fermes secondaires, poussées longitudinales), cumulées à celles de son propre poids, étaient transmises directement aux entrails retroussés qui leur servaient d'appui et surtout aux poinçons. Ces derniers, n'étant « retenus » que par les faux-entrails monoxydes, donc uniquement dans la nef et avec des bois longs et flexibles, et par leur assemblage de tête aux chevrons, où la section du poinçon est la plus faible, ne pouvaient donc pas résister à ces charges et ont par conséquent rompu leurs assemblages aux points les plus faibles, c'est-à-dire en tête. Les poinçons ont de ce fait descendu, entraînés par le poids du dispositif, en accentuant les charges sur les entrails retroussés des fermes secondaires. Cette surcharge des fermes secondaires a accru les poussées latérales des chevrons et augmenté leur fléchissement déjà fortement sollicité par leur grande longueur et leur flexibilité. Le pourrissement des pieds au XIX^e siècle n'a fait qu'aggraver les choses.

Ces déformations répondent ainsi en premier lieu à la structure quasi expérimentale de ce contreventement axial. Ce dispositif était bien trop lourd avec des longues écharpes inutiles et surtout mal disposé en générant d'importantes charges sur des pièces qui n'étaient pas conçues pour les recevoir (entrails retroussés et poinçons). Le rôle de ce dispositif était de contreventer la charpente mais de simples liernes axiales en partie haute avec de courts liens obliques auraient largement suffi. Enfin, l'autre défaut de cette charpente concerne les faux-entrails des fermes principales, trop flexibles dans la nef et en deux pièces dans le chœur, qui ne pouvaient contribuer efficacement à lutter contre la descente du poinçon. À cela il faut ajouter les faibles sections et la grande flexibilité des bois, non imputables aux charpentiers, certes,



puisqu'on les observe dans la plupart des charpentes de cette époque, mais cela a fortement aggravé les déformations.

On peut se demander si ces déformations sont apparues rapidement et si les charpentiers ont vite pris conscience de ces défauts lors du chantier. Les bois utilisés pour le chœur sont de plus forte section et il est possible que l'apparition rapide de ces déformations a pu contraindre le maître d'œuvre à choisir des bois plus résistants. Cependant, au début du chantier du chœur, après l'achèvement de la nef, pourquoi n'ont-ils pas allégé la structure du contreventement et pourquoi ont-ils utilisé des faux-entraits de deux pièces pour les fermes principales ? Il est donc probable que les charpentiers n'aient pas pris conscience de ces risques au cours du chantier. Mais il semble par contre évident que ces déformations furent visibles à la fin du chantier et que les maîtres d'œuvre qui visitèrent ce chantier en retinrent certaines leçons. Ce dispositif longitudinal ne fut pas reproduit sur d'autres charpentes et ceux élaborés dans les décennies qui suivent sont mieux conçus et ne s'appuient plus sur les entraits retroussés. Vers 1265, la charpente du chœur de la cathédrale de Tours utilise un dispositif longitudinal plus équilibré avec dans ses fermes principales des arbalétriers ou sous-chevrons qui renforcent la triangulation et la suspension des poinçons, en réponse peut-être à la faiblesse de ceux de Bourges. De même, le pied des fermes de la cathédrale de Tours est renforcé d'appuis pour limiter les déformations liées aux poussées latérales. On peut aussi s'interroger sur la disparition des grandes écharpes dans les dernières décennies du XIII^e siècle, dans quelle mesure on prenait peut-être conscience qu'elles étaient trop flexibles pour le raidissement des grandes fermes.

NOTES

- 1 > Épaud 2007, p. 178.
- 2 > Ce remaniement de 1263 suppose la mise en place d'une flèche et d'une toiture transversale (faux-transept). Leur mise en place a entraîné le démontage/remontage de cette partie de la charpente de la nef (F57-F67).
- 3 > Densité du chêne vert : 1 300 kg/m³.
- 4 > Portée mesurée entre chaque extrémité de la base de la ferme.
- 5 > Ces grandes tuiles s'apparentent à celles identifiées sur d'autres grands édifices de cette période comme à la cathédrale de Lisieux pour la fin XII^e-début XIII^e siècle (34 × 19 cm), à l'abbaye de Royaumont, dans le Val-d'Oise, vers 1230 (35 × 21 cm), à la cathédrale de Meaux pour la seconde moitié du XIII^e siècle (32 × 19 cm), et aussi à des tuiles retrouvées en fouille aux abords de la basilique de Saint-Denis.
- 6 > Hamon 2002, p. 19-30.
- 7 > Hunot 2001, p. 26.
- 8 > Épaud 2007, p. 164.
- 9 > *Ibid.*, p. 169.
- 10 > F41N1M et F49M3S. F18N2M est bien aussi une sablière mais l'écartement des entailles ne correspond pas à l'entrevous des fermes de la charpente gothique. Il peut s'agir d'une sablière d'une autre partie de la charpente de la cathédrale, en cours de restauration lors de ce vaste chantier de 1882.
- 11 > F41S2M, F40S1M + F40S2M.
- 12 > F39S3M + F39S2M, F21M1S et celle de la passerelle.
- 13 > Sur le versant sud, entre F36 et F46, deux longrines amputées aux extrémités sont conservées en place dans leurs entailles mais leur taille maladroite, leur fixation par des boulons et leur section inadaptée aux mi-bois montrent qu'elles sont d'époque moderne ou contemporaine.



- 14 > N° 159 : F58, écharpe nord (1243BF) ; n° 162 : F64, écharpe sud (1238BF) ; n° 165 : F66, écharpe sud (1242BF).
- 15 > F25NiM.
- 16 > Chevrons sud de F114 et nord de F156.
- 17 > Terme désignant la juxtaposition de deux pièces de bois dans leur position définitive pour tracer leur assemblage.
- 18 > Cette étonnante flexibilité des fermes a pu être démontrée lors de la découverte de la charpente.
- 19 > Épaul 2013, p. 188-208.
- 20 > Anciennement désignée comme salle de justice (Charpentes 2002, p. 178).
- 21 > On recense, sur les vingt-neuf chevrons réemployés, trois avec une seule mortaise latérale, trois avec deux mortaises latérales sur le même flanc sud et trois avec une mortaise latérale sur chaque flanc.
- 22 > CRMH 2002, p. 192.
- 23 > *Ibid.*, p. 128 et 85.
- 24 > Asselineau 1995, p. 93.
- 25 > Chevrier 1995.
- 26 > Épaul 2008.
- 27 > Hofsummer 2002, p. 98 et 172.
- 28 > Bontemps 1984.
- 29 > Viollet-le-Duc 1854-1868, p. 264.
- 30 > Hoffsummer 2002, p. 111.
- 31 > Épaul 2008.
- 32 > Écartement maximal entre la position de chevron au repos et celle du même chevron soumis à la flexion.





LES INDICES DU CHANTIER

LA « FERME-ÉPURE »

Les structures de charpente sont traditionnellement conçues sur des aires d'épure, sur un vaste plancher provisoire où l'épure est tracée au noir de charbon ou bien représentée par des fils tendus. C'est par ce procédé qu'ont été réalisées les premières fermes des charpentes au XIII^e siècle, comme le plan des premières travées avec les sablières, les blochets et les entrails, ainsi que les contreventements longitudinaux.

Le relevé de la charpente a permis de reconnaître l'utilisation d'un autre procédé pour les autres fermes, basé sur le principe de la ferme-épure. Plutôt que d'utiliser toujours le même tracé d'épure pour la conception de toutes les fermes, les charpentiers se sont servis d'une ferme principale déjà constituée pour concevoir les suivantes. Ils ont ainsi superposé sur celle-ci les bois de la nouvelle ferme en les calant précisément les uns sur les autres afin de tracer l'emplacement des assemblages (piquage). Une fois ceux-ci taillés, ils ont assemblé la nouvelle ferme, toujours au-dessus de la ferme-épure, pour vérifier le bon agencement des pièces, puis percé les trous de cheville avec une tarière. Lors des percements, la tarière a traversé le bois et s'est arrêtée sur la pièce sous-jacente en amorçant un léger trou ou cupule. Ce sont ces petites cupules laissées par une tarière à cuillère qui ont été repérées au droit des assemblages de plusieurs fermes de la charpente, qui sont autant de fermes-épures.

On les observe, dans un état fragmentaire, sur les fermes principales 36, 56 et, dans un état de conservation quasi complet, sur les fermes principales 132 et 142. Sur cette dernière, ces cupules sont présentes au droit de tous les assemblages, excepté au pied des contrefiches et le poinçon, excepté en tête. Le nombre de cupules par assemblage indique donc le nombre minimal de fermes réalisées sur la ferme-épure : huit pour F142 et sept pour F132. Sur F36 et F56, seul le chevron nord, au droit de l'assemblage du faux-entrait, en comporte.

Sur F132 et F142, l'emplacement des cupules correspond aux percements des assemblages des fermes secondaires et non de ceux des fermes principales. En effet, les cupules sont présentes au droit des assemblages correspondant aux pièces des fermes secondaires comme les écharpes et à celles qui leur sont communes (aisseliers, jambes de force...), et non aux pièces qui sont exclusives aux fermes principales comme les contrefiches et le poinçon (fig. IV-1). Ainsi, le faux-entrait montre des cupules en tête de l'aisselier et non en pied de la contrefiche tandis qu'elles apparaissent à l'emplacement des écharpes des fermes secondaires.

De même sur les chevrons, les cupules sont situées en tête d'écharpes et non en tête de contrefiches. Sur l'entrait, les cupules sont localisées en pied des jambes de force alors que celui-ci n'est jamais chevillé à l'entrait des fermes principales. Enfin, aucune cupule n'a été relevée sur l'entrait au pied du poinçon. Ceci confirme donc que ces fermes principales ont servi d'épure pour des séries de sept à huit fermes secondaires, soit deux travées, selon le nombre de cupules conservées, mais jamais pour des fermes principales qui devaient, elles, être conçues sur un véritable tracé d'épure.

Ces cupules peu profondes sont parfois difficiles à observer et peuvent avoir disparu suite à l'érosion des bois. Certains percements ont pu aussi ne pas toucher la surface des fermes-épures. Il est donc probable que d'autres fermes-épures ont pu exister dans cette charpente et que ce procédé a servi à la conception de toutes les fermes secondaires. Cependant, par prudence, nous conviendrons que les fermes de la charpente ont été réalisées selon deux procédés, le premier à partir de tracés sur épure et le second sur ferme-épure.

Il faut aussi noter que sur ces fermes-épures, la face est des bois est couverte d'une multitude de coups de hache et de traces résultants de chocs et de frottements d'autres bois, liés à la manutention des pièces sur ces fermes.



Fig. IV-1 > Cupules au droit des assemblages sur le faux-entrait de la ferme principale 142. Celles situées entre l'aisselier et la contrefiche correspondent au percement des pieds d'écharpe de fermes secondaires (au second plan) tandis qu'elles sont absentes au droit de la contrefiche.



Fig. IV-2 > Tracés de piquage au traceret destiné à délimiter la mortaise à tailler sur le chevron.

LE PIQUAGE

Plusieurs assemblages conservent des traces de piquage faites avec une pointe métallique (tracéret) (fig. IV-2). Ces tracés préparatoires à la taille furent réalisés sur l'épure ou une ferme-épure lorsque les bois étaient superposés les uns sur les autres afin de définir l'emprise des assemblages. L'usage de la pointe métallique est propre aux techniques de charpenterie du XIII^e siècle. Aucune trace de lignage n'a cependant été observée. Soit il a été fait au cordeau avec du noir de charbon qui a été effacé avec l'usure du temps, soit il n'a tout simplement pas été réalisé, ce qui semble être le plus plausible ici. En effet, avec des bois standardisés de section identique, tous les assemblages peuvent être taillés dans l'axe des pièces uniquement d'après le piquage. Il n'est pas rare en effet de voir des grandes charpentes du XIII^e siècle sans aucun lignage sur les bois, comme celles de la cathédrale de Tours.

LE MARQUAGE

Le marquage des bois est réalisé en fin d'exécution de la ferme. Chaque pièce reçoit alors une marque distinctive qui va servir de repère pour son remontage au moment du levage. Ainsi, chaque bois est marqué afin qu'il puisse être replacé dans sa position prédéfinie dans la ferme et chaque ferme est numérotée afin qu'elle soit disposée à son rang dans le plan de la charpente. La numérotation des fermes par des séries de chiffres romains correspond donc à l'ordre successif de leur exécution. Toutes les marques sont ici inscrites à la rainette sous la forme de grands traits couvrant les deux tiers de la face.

Comme dans de nombreuses autres charpentes du XIII^e siècle, le marquage obéit à certaines conventions d'écriture afin de faciliter leur inscription et leur lecture lors du remontage de la ferme. Les marques sont ainsi en chiffres romains avec des abréviations où le X est associé au V. Elles sont inscrites généralement au droit d'un assemblage sur les deux pièces (fig. IV-3) et en pied des pièces obliques. Enfin, comme une ferme est symétrique par rapport à son axe vertical, les marques inscrites d'un côté se distinguent de celles du côté opposé par le rajout d'un signe supplémentaire appelé contremarque.

L'étude du marquage montre qu'il existe deux systèmes de numérotation : un premier pour la charpente d'origine mise en œuvre en 1256-1257 sur la nef et le chœur et un second pour la partie remaniée sur les dernières travées de la nef en 1263 (F57-F67). Pour chacun de ces deux systèmes, le marquage concerne aussi bien les fermes que les éléments du dispositif longitudinal dont ne subsistent que les poinçons.



Fig. IV-3 > Marques de la ferme 58.

Le marquage de 1256-1257

Ce marquage, cohérent et homogène, s'applique aux charpentes mises en œuvre sur la nef et le chœur en 1256 et 1257. Il se décompose en plusieurs séries numérotées en chiffres romains dont le sens de progression correspond au sens de montage de la charpente (fig. IV-4 et IV-5). Pour la nef, les cinq séries identifiées évoluent de l'ouest vers l'est selon le sens de levage des fermes, du pignon vers le chevet, tandis que sur le chœur les deux séries progressent dans le sens inverse, de l'est vers l'ouest. De même, dans la nef, les marques sont inscrites sur la face ouest des fermes tandis que sur le chœur, elles le sont sur la face est. Cette face d'inscription, dite face d'établissage, correspond à la face de remontage des pièces et indique le sens de progression du levage.

Marquage de la charpente de la nef

Ce marquage comprend cinq séries numérotées dont seules deux subsistent dans la charpente d'origine en place, de F16 à F56, les autres étant restituées d'après les réemplois.

La 1^{re} série concerne les fermes situées à l'ouest entre les deux tours de façade. Aucune marque n'a été retrouvée sur les réemplois mais le nombre de fermes manquantes suggère une série de 1 à 15.

La 2^e série, de F16 à F35, évolue de l'ouest vers l'est de I à XX sans discontinuité ni interruption au niveau des fermes principales. Celles-ci sont bien intégrées à la numérotation contrairement à ce que leur différence de structure avec les fermes secondaires aurait pu suggérer. À part quelques rares exceptions, les I sont inscrits avant le V ou le X, ce qui inverse le sens de lecture habituel de ces marques.

Dans les fermes, les marques sont inscrites en pied des pièces obliques (chevrons, écharpes) avec un report de la marque du pied de l'écharpe et de l'aisselier sur le chevron au droit de l'assemblage (fig. IV-6 à IV-8) tandis que les pièces horizontales sont aléatoirement marquées au nord, au sud ou aux deux extrémités, avec de très rares reports sur le chevron.

La 3^e série, de F36 à F55, est presque semblable à la précédente avec une évolution de l'ouest vers l'est de I à XX, sans discontinuité par rapport aux fermes principales. On relève la même abréviation avec cependant un sens de lecture plus aléatoire des chiffres (les I avant le V avant le X ou l'inverse), parfois au sein d'une même ferme.

Leur localisation sur les fermes semble plus rigoureuse avec, comme différence par rapport à la précédente série, une absence de report sur le chevron au droit du pied de l'écharpe, sauf pour les trois premières fermes, un marquage des entrants retroussés et des faux-entrants uniquement au sud, excepté pour les deux premières fermes.

Les 4^e et 5^e séries, de F56 à F106, à l'emplacement de la partie remaniée en 1263 et de la charpente du XVIII^e siècle, sont restituées d'après F56 en début de série et les nombreux réemplois.

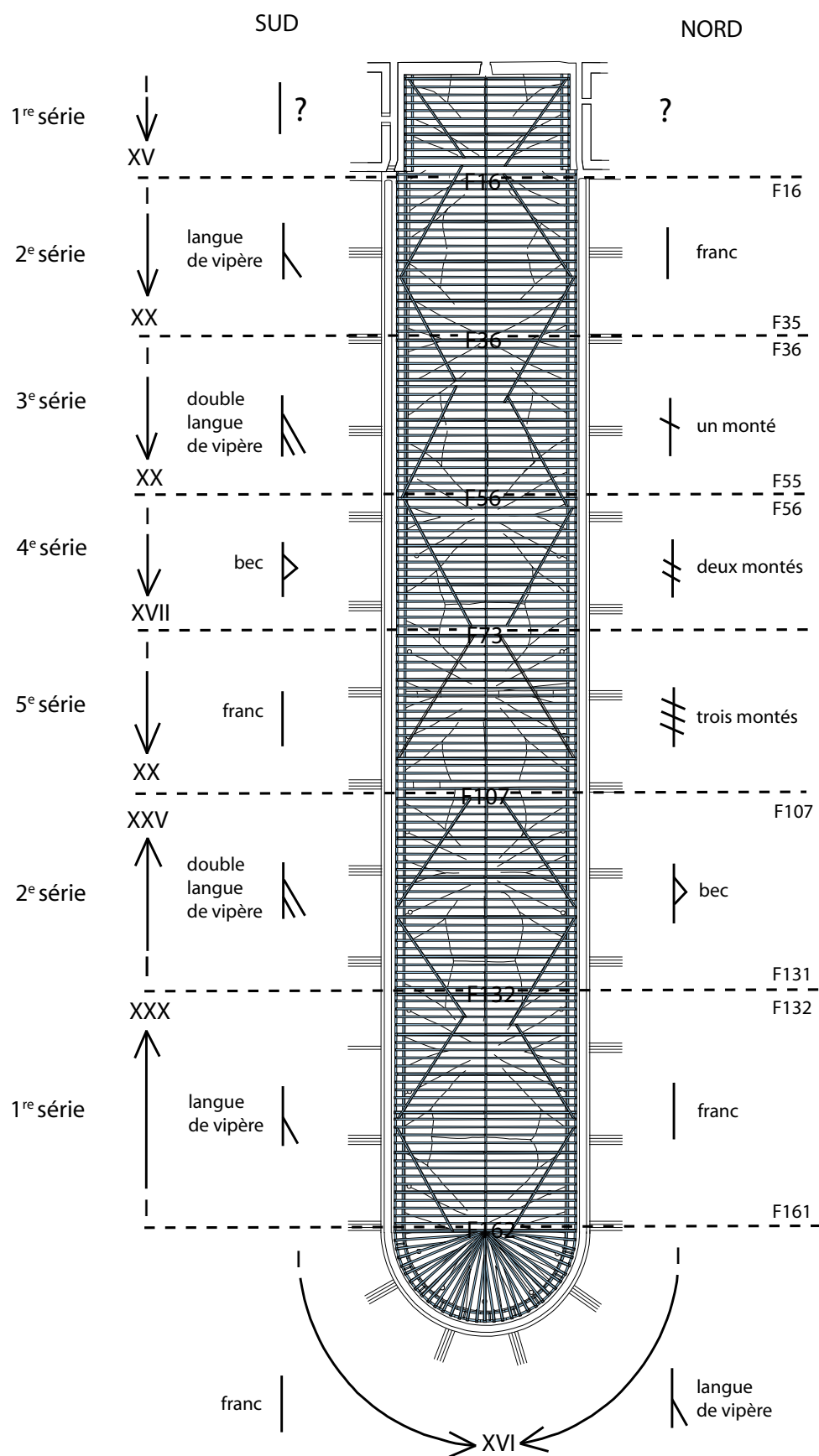


Fig. IV-4 > Plan de marquage des charpentes de la nef et du chœur (1256-1257).

Ferme	Face d'établissage	Versant sud	Valeur	Versant nord	Mise en place
16					
17		IK	2	II	
18			3	III	
19		YIII	4	IIII	
20		V	5	V	
21		YV	6	VI	
22			7	VII	
23		YVII	8	VIII	
24		YVIII	9	IIIII	
25		X	10	X	
26		YX	11	XI	
27		YIX	12	II X	
28		YIIX	13	III X	
29		YIIIX	14	IIII X	
30		YX	15	XV	
31		YXV	16	XVI	
32	Face ouest	YIX	17	IIIX	1256
33		YIIX	18	IIIX	
34		YIIIX	19	IIII X	
35			20	XX	
36		Y	1	†	
37		Y/	2	†I	
38		YII	3	†II	
39		YIII	4	†III	
40		YV	5	†V	
41		YV	6	†VI	
42		YVII	7	†VII	
43		YVIII	8	†VIII	
44		YIIIX	9	†IIII	
45		YX	10	†X	
46		YX	11	†IX	

Ferme	Face d'établissage	Versant sud	Valeur	Versant nord	Mise en place
47	Face ouest	YIX	12	†IX	1256
48		XIIZ	13	II†X	
49		XIIIZ	14	XIIII	
50		XY	15	XX	
51		XI↘	16	XI†	
52		XI↗	17	XI//	
53		YIIIX	18	†IIIX	
54		XIIII↗	19	†IIIIIX	
55		XX	20	XX	
56		∧	1	∧†	
57		II	2	##	
58		III	3	###	
59		IIII	4	II##	
60		∧	5	∧IX	
61			6	∧†	
62		V//	7	V#	
63		∧III	8	V†III	
64		IIII∧	9	IIII#	
65		X	10	X	
66		XI	11	†IX	
67	XII	12	XX		

Fig. IV-5 > Tableau de la numérotation des fermes.

Ferme	Face d'établissage	Versant sud	Valeur	Versant nord	Mise en place
Charpente de 1747					
107	Face est		25	XXX	1257
108		... IIII	24	XXIIII	
109		XXIIII	23	XXIIII	
110		XXII	22	XXII	
111		XXI	21	XXI	
112		XX	20	XX	
113		XIIII	19	XIIII	
114		XIIII	18	XIIII	
115		XIII	17	XIII	
116		XII	16	XII	
117		XI	15	XI	
118		XIIII	14	XIIII	
119		XIII	13	XIII	
120		XII	12	XII	
121		XI	11	XI	
122		X	10	X	
123		YIIII	9	IIII	
124		YIII	8	IIII	
125		YII	7	II	
126		YV	6	II	
127		AI	5	AI	
128		IIII	4	IIII	
129		IIII	3	II	
130		YI	2	AI	
131		AI	1	AI	
132	?	30	XXX		
133	XXIIII	29	XXIIII		

<i>Ferme</i>	<i>Face d'établissage</i>	<i>Versant sud</i>	<i>Valeur</i>	<i>Versant nord</i>	<i>Mise en place</i>
134	Face est		28		1257
135			27		
136			26		
137			25		
138			24		
139			23		
140			22		
141			21		
142			20		
143			19		
144			18		
145			17		
146			16		
147			15		
148			14		
149			13		
150			12		
151			11		
152			10		
153			9		
154			8		
155			7		
156			6		
157			5		
158			4		
159			3		
160			2		
161			1		

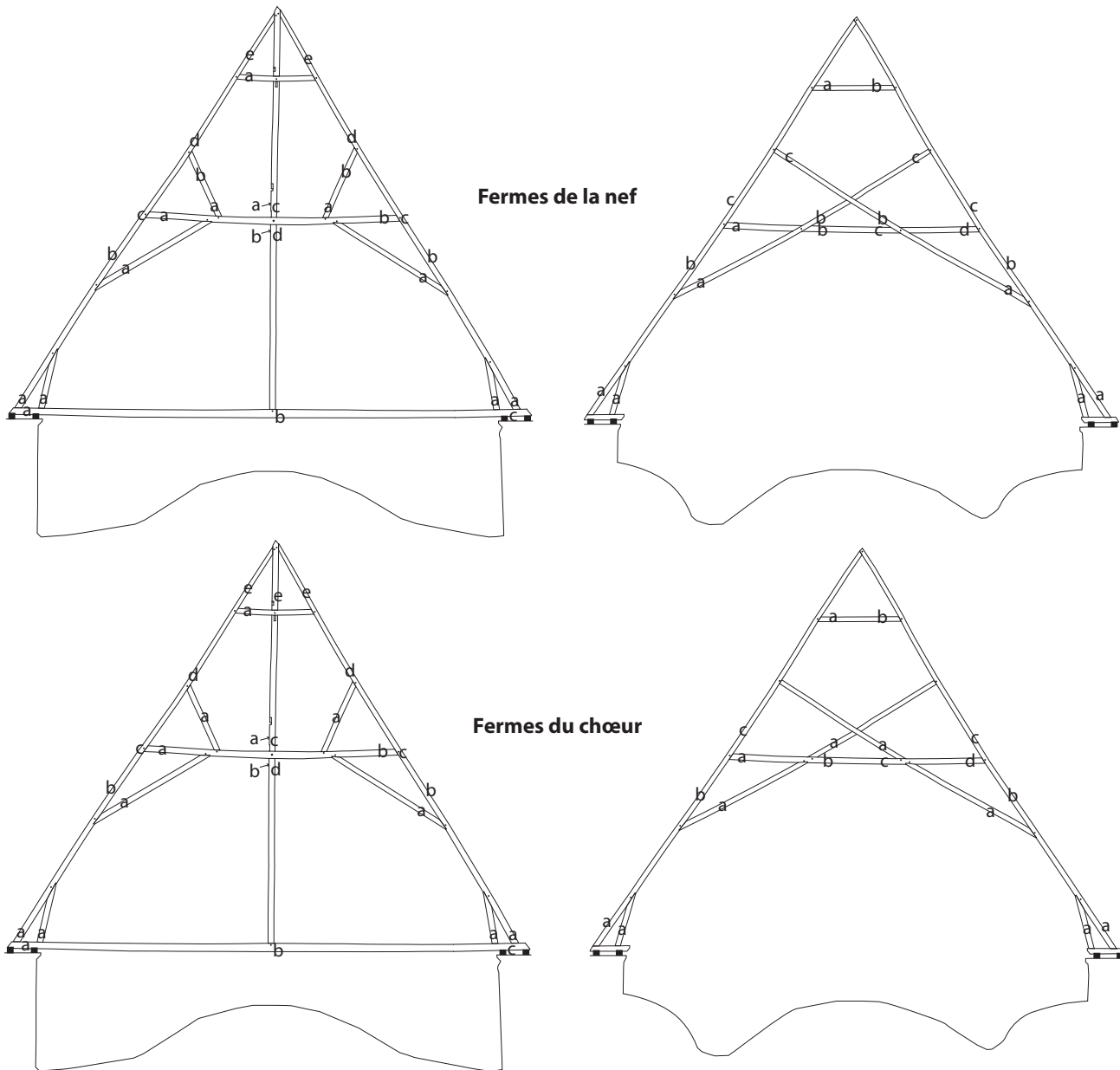


Fig. IV-6 > Schéma de localisation des marques sur les fermes.

La 4^e série progresse de I à XVII et la 5^e de I à XX, toujours de l'ouest vers l'est. Sur toute la nef, les contremarques évoluent logiquement de série en série, de l'ouest vers l'est, avec une certaine cohérence. Au nord, les marques sont progressivement barrées d'un trait, passant du franc dans la 2^e série, au « un monté » dans la 3^e, au « deux montés » dans la 4^e et au « trois montés » dans la 5^e. Au sud, les marques sont graduellement mordues d'une « langue de vipère » dans les trois premières séries (la première devait être franche, sans contremarque), puis adjointes d'un bec à la 4^e, et enfin dépourvues de contremarque à la dernière.

Marquage de la charpente du chœur

La répartition des marques au sein des fermes répond d'une structure un peu différente de celle la nef mais elle correspond aux mêmes principes. Les marques sont inscrites en pied des pièces obliques (chevrons, jambes de force, aisseliers, écharpes et contrefiches) et à chaque extrémité des pièces horizontales (entrants, faux-entrants, entrants retroussés) excepté pour le dernier faux-entrant qui n'est identifié que par une seule marque. Il s'agit donc essentiellement de marques de pièces destinées à identifier la pièce et non de marques d'assemblage excepté au début du marquage des fermes du chœur, de F161 à F159, où les charpentiers ont commencé à marquer tous les assemblages de l'entrant retroussé avant de se raviser, voyant que cela était inutile et fastidieux.

Concernant la numérotation, les fermes du chœur sont numérotées de l'est vers l'ouest suivant deux séries continues : de I à XXX (F161 à F132) pour la première et de I à XXV (F131 à F107) pour la seconde (fig. IV-4). Le contremarquage évolue là aussi de la première à la seconde série selon une certaine logique avec au sud le rajout de langues de vipère à la marque et au nord l'adjonction d'un bec après le franc. On retrouve aussi les mêmes signes de contremarque employés dans la nef, ce qui suppose une exécution faite par les mêmes charpentiers.

Pour la croupe, les demi-fermes sont marquées en deux séries symétriques évoluant de I à XVI, de la ferme de croupe à la demi-ferme d'axe, avec un contremarquage d'une langue de vipère au nord.

Marquage du contreventement axial

Un autre marquage indépendant de celui des fermes a été utilisé pour les éléments du dispositif longitudinal axial qui était fixé aux poinçons, marqués sur leur face nord. Les poinçons de la nef ont une numérotation qui progresse de III (F16) à XI (F56), de l'ouest à l'est, et inversement sur ceux du chœur, de I à XI, de l'est vers l'ouest. Cette numérotation s'interrompt entre F57 et F107 avec la reprise de 1263 et la charpente du XVIII^e siècle.

On constate donc, avant la reprise de 1263, que le marquage du contreventement était continu aussi bien sur la nef que sur le chœur, avec un ordre de progression correspondant à celui des fermes de la charpente. Ce marquage confirme une exécution du dispositif contemporaine de celle de la charpente et que son montage a suivi la progression du levage des fermes.

Interprétation

Ce système de marquage et de contremarquage est donc cohérent sur l'ensemble de la charpente, avec des contremarques qui se suivent de série en série. L'utilisation dans les charpentes de la nef et du chœur du même registre de marques en chiffres romains et de contremarques, selon des séries identiques, avec une répartition similaire au sein des fermes confirme que ces deux charpentes ont été exécutées par les mêmes équipes de charpentiers.

Fig. IV-7 (quadruple page) > Tableau de marquage des fermes secondaires.

Noir : bois bûché, caché, remplacé ou disparu.

?: surface érodée ou cachée.

Ferme secondaire	Nord												Sud																													
	Jambe de force			Chevron			Écharpe nord			Entrait retroussé			Écharpe sud			Faux-entrait			Valeur			Jambe de force			Chevron			Écharpe sud			Entrait retroussé			Écharpe nord			Faux-entrait					
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c			
17	II			II			II																					II									II					
18	?			III			III																																			
19	III			III			III			III																		III														
20				V			V			V																		V														
22	IV			IV			IV			IV																		IV														
23	IV			IV			IV			IV																		IV														
24				IV			IV			IV			IV															IV														
25	X			X			X			X			X															X														
27	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
28	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
29	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
30				X			X			X			X															X														
32	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
33	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
34	IX			IX			IX			IX			IX															IX														
35	XX			XX			XX			XX			XX															XX														
37	II			II			II			II			II															II														
38	II			II			II			II			II															II														
39	III			III			III			III			III															III														
40				?			?			?			?															?														



42	V	VII																		VII			?
43	?	IIIV													VII								IIIV
44	IIIV	?													IIIV								IIIV
45	X	X												X									X
47	IX	IX												IX									IX
48	XII	IIIX												?									IIIV
49	XIII	XIII												?									XIII
50	X	X												?	X								X
52	XII	XII																					XII
53	IIIV	IIIV												IIIV								?	?
54	IIIV	IIIV												IIIV									IIIV
55	?	X												X									X
57*	?	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
58*	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
59	X	X												X									X
60	II	II												II									II
61	?	?												?									?
63*	?	VIII												VIII									VIII
64	X	X												X									X
65*	IIIV	IIIV												IIIV									IIIV
66*		X												X									X

Ferme principale	Nord											
	Jambe de force	Chevron					Aisselier	1 ^{er} faux-entrait	Contrefiche		2 ^e faux-entrait	Entrait
	a	a	b	c	d	e	a	a	a	b	a	a
16												
21		Λ	Λ				Λ	Λ	Λ			
26	XX						XI	XI	XI			
31	XI	XI	XI				XI	XI		I/X		XVI
36	†						†	†		†		
41			Λ†				Λ†	Λ†	Λ†			†V
46							†X	†X				
51	XI†	XI†	XI†				XI†		†X			
56	≠	≠	≠				≠	≠	≠			
62												V#
67							XX	?				XII

Ferme principale	Sud											
	Jambe de force	Chevron					Aisselier	1 ^{er} faux-entrait	Contrefiche		2 ^e faux-entrait	Entrait
	a	a	b	c	d	e	a	a	a	a	a	
107		?	?									
112	?	?	?				XX	XX	XX			XX
117		?	Λ†				?	Λ†				Λ†
122							X	X	X			
127	Λ	?	?				Λ	Λ	Λ			Λ
132	?	?	?				?	?	?			?
137	XXI	XXI	?				XXI	XXI	XXI			?
142	XX	?	?				XX	XX	XX			?
147	Λ	Λ	Λ				Λ	?	Λ			?
152	X	X	X				X	X	X		?	?
157	Λ	?	?					Λ	Λ			?

Fig. IV-8 > Tableau de marquage des fermes principales.

?: Surface érodée ou cachée. Noir: bois bûché, caché, remplacé ou disparu.

				Sud												
Poinçon				Entrait		Jambe de force	Chevron					Aisselier	1 ^{er} faux-entrait	Contrefiche		2 ^e faux-entrait
a	b	c	d	b	c	a	a	b	c	d	e	a	b	a	b	b
III																
IIIK								YV				YV		YV		
V							?	YX				YX	YX	XI		
IV		XVI						?				XI	XI		YX	
IIIV								Y				Y			Y	
IIIV		YV							YV			YV	YV	YV		
IIIV				YX								YX				
X		IVIV						YX				YX	XI	YX		
IX				≠								A	A	A		
	?		VII													
	XII		XII		XII							XII	XII	?		

					Nord											
Poinçon					Entrait	Jambe de force	Chevron					Aisse-lier	1 ^{er} faux-entrait	Contrefiche	2 ^e faux-entrait	
a	b	c	d	e	c	a	a	b	c	d	e	a	b	a	b	
						XXV	XXV						XXV	XXV		
XI				XI	XX			XX				XX	XX			
X					?			XX	?			XX	XX	XX		
IIIV					?	?		XX				?	XX	XX		
IIIV					Y	A	A	A				A	A	Y		
IIIV					?	?	XXX	XXX				XXX	XXX	XXX		
						XXI		XXI				XXI		XXI		
V					?	XX	?	XX				XX	XX	XX		
IIII					XX		?	XX				XX	XX	XX		
III					X	X	X	X				X	X	X	X	
II					V	?	A	?				A	A	?		

Chaque série numérotée de 17, 20, 25 ou 30 fermes peut correspondre à un ensemble réalisé par une équipe de charpentiers dans l'hypothèse où il y aurait eu sur ce chantier plusieurs équipes travaillant de concert, en parallèle, avec pour chacune d'elles l'emploi d'une contremarque distincte. Une autre hypothèse, la plus plausible selon nous, serait qu'il y ait eu qu'une seule et unique équipe qui aurait réalisé toutes les fermes en continu en respectant successivement des séries numérotées correspondant à autant de phase de levage. Chaque série de 20 ou 30 fermes aurait donc été exécutée le temps d'une étape de chantier, puis levée aussitôt. Cette proposition est la plus vraisemblable puisque deux lots de bois de deux séries différentes, portant les mêmes marques avec les mêmes contremarques, ne pouvaient être stockés et levés ensemble sans qu'il n'y ait risque de confusion entre les pièces. En effet, la numérotation des fermes utilise des séries courtes de chiffres romains qui se répètent de série en série avec des contremarques identiques selon les lots de fermes. On peut donc supposer que lorsqu'une nouvelle série de fermes commence à être réalisée avec, pour son marquage, une contremarque qui a déjà été utilisée dans un lot de fermes précédent, celles-ci ont déjà été levées. Selon cette hypothèse, pour la nef, les fermes de la 5^e série (F73-F106), utilisant des marques franches au sud, ont été exécutées alors que celles de la 2^e série de la nef marquées à l'identique étaient déjà mises en place. De même, les deux séries de fermes du chœur ont été réalisées alors même que les fermes des dernières séries de la nef (F73-F106) étaient déjà levées. Les sept séries de fermes numérotées en continu auraient donc été exécutées et levées successivement, vraisemblablement par la même équipe de charpentiers, avec celles de la nef en 1256 puis celles du chœur et de l'abside à partir de 1257, ce qui expliquerait l'emploi du même type de marque et de contremarque sur toute la charpente. Cette proposition semble cohérente avec les datations dendrochronologiques, les observations sur les bois et aussi la logistique d'un chantier de ce type puisqu'une réalisation conjointe du chœur et de la nef par deux équipes travaillant en parallèle suppose un personnel suffisant pour la direction et l'encadrement des deux chantiers, deux espaces de travail au sol, dans un espace déjà fortement contraint avec, pour le levage, deux engins et deux échafaudages, mobilisant encore plus de main-d'œuvre à chaque démontage et déplacement, ce qui semble donc très peu probable.

Le marquage de 1263

Les fermes conservées du remaniement de 1263 présentent un marquage continu en chiffres romains qui progresse de l'ouest vers l'est, de II (F57) à XII (F67), avec un contremarquage au nord fait de « deux montés » (fig. IV-5 à IV-8). Il débute en fait à partir de F56 laissée en place et déjà marquée I, en prolongeant la numérotation mais avec un autre système de contremarque.

La répartition des marques dans les fermes se distingue bien des précédentes avec des inscriptions en pied des écharpes et des aisseliers des fermes secondaires, multipliant le marquage sur l'entrait retroussé qui lui est, par ailleurs, marqué aux deux extrémités. Le faux-entrait est marqué préférentiellement au nord. Quant aux fermes principales F62 et F67, trop de bois sont masqués ou remplacés pour en déduire quoi que ce soit. Pour le contreventement, il semble que le marquage des poinçons corresponde à celui des fermes, ce qui semble logique vu la cohérence de cette reprise de charpente.

Il apparaît donc que le marquage de cet ensemble reprend globalement la même écriture des marques que celle réalisée précédemment malgré des différences notables concernant leur répartition au sein des fermes. Par ailleurs, les similitudes de structures observées entre ces fermes et celles du chœur tendraient à confirmer l'intervention des mêmes équipes de charpentiers.

LE MARQUAGE X

Outre les marques destinées au levage de la charpente, de nombreuses pièces possèdent un signe supplémentaire représenté par un X inscrit à la grande rainette sur toute la face et placé indistinctement sur les faces est, ouest, supérieure ou inférieure, aussi bien en pied, en tête qu'en milieu de pièce, et indépendamment du marquage des fermes (fig. IV-9). Leur emplacement semble donc aléatoire sur les bois, excepté sur les chevrons où elles sont présentes en pied. Les bois marqués ne possèdent qu'un seul X, sauf un entrain retroussé qui en possède deux à des endroits distincts¹.

Dans le chœur, croupe comprise, ce marquage touche 40 % des bois et concerne en majorité les aisseliers, les entrains retroussés, les écharpes, et nettement moins les courtes pièces comme les jambes de force ou les derniers faux-entrains. Quelques chevrons sont marqués mais leur forte érosion en face externe et l'amputation de leur pied peut fausser cette analyse. Ils pourraient avoir été marqués autant que les autres longs bois. Aucune marque X n'a été cependant observée sur les entrains et les poinçons. Dans la nef, seuls cinq bois possèdent cette marque² et dans la partie remaniée en 1263, seuls dix en ont une³ (10 %) dont trois réemplois. Il s'agit donc d'une pratique qui concerne majoritairement le chantier du chœur après avoir été utilisée timidement dans la nef. En 1263, il semble que ce marquage a été abandonné et que les bois marqués sont issus des stocks du chantier du chœur qui venait juste de s'achever.

Nombre de ces marques sont recoupées et déformées par des fentes de séchage, prouvant qu'il s'agit bien d'un marquage d'origine et non d'une numérotation liée à un remaniement tardif. Leur emplacement aléatoire, souvent sur des faces difficilement visibles, suggère qu'elles n'étaient pas destinées au montage des fermes ni à une opération de levage. Par ailleurs, de nombreuses marques sont coupées à l'extrémité de la pièce (fig. IV-9), prouvant que ce marquage a servi avant la taille des assemblages.

Ce marquage, destiné nécessairement à distinguer des pièces, aurait donc servi à identifier des lots de bois équarris avant leur



Fig. IV-9 > F134, marque X inscrite sur l'entrain retroussé et sur l'extrémité de l'aisseleur et de l'écharpe où elle est recoupée par la taille de l'assemblage.

débitage et donc avant qu'ils aient été placés sur épure. La question reste de connaître l'utilité d'un tel marquage, inédit à l'heure actuelle pour une charpente médiévale. En quoi ces marques permettent-elles de distinguer des pièces sachant qu'elles sont toutes identifiées avec le même signe ? Et pourquoi les entrails et les poinçons n'en possèdent-ils pas ?

Il est probable que ce marquage ait pu servir à une opération de manutention particulière des stocks de bois, liée au tri des pièces équarries avant leur mise sur épure. Il est possible aussi qu'il ait pu servir à la sélection des bois attaqués pour le fumage. L'échantillonnage destiné aux analyses n'est cependant pas suffisant pour valider cette théorie.

Il faut toutefois exclure l'hypothèse d'une marque de marchand puisque les premières mentions dans les textes de marchands et de commerce de bois d'œuvre datent du xv^e siècle dans le Val de Loire⁴. Aux XIII^e et XIV^e siècles, dans la région, les transactions entre acheteurs et propriétaires forestiers se font entre particuliers, de gré à gré. De plus, les premières marques de marchands connues pour le xv^e siècle sont assez complexes et ne s'apparentent pas à celle-ci.

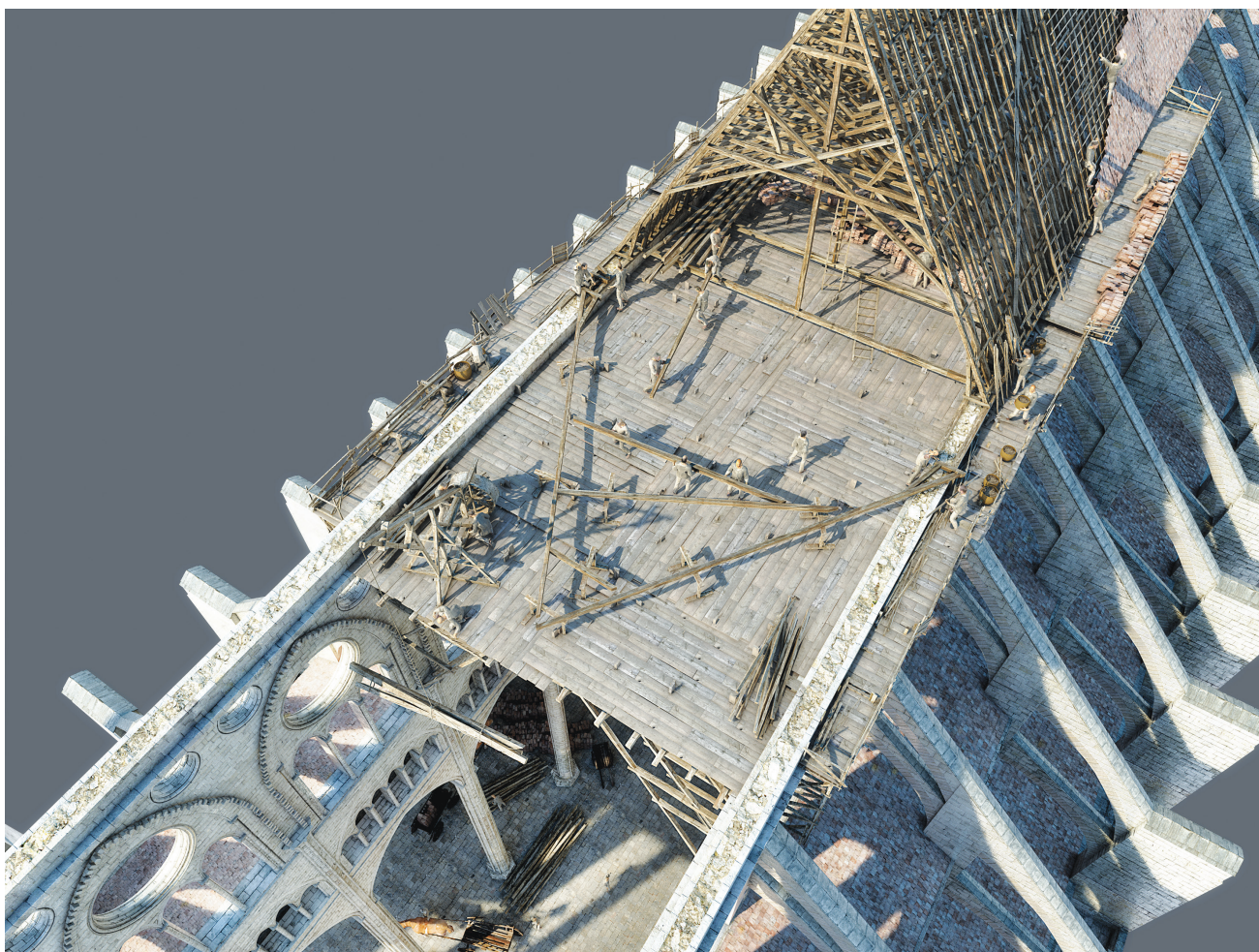


Fig. IV-10 > Les bois sont hissés et stockés sur le plancher de travail pendant qu'une ferme est remontée d'après le marquage des pièces.
[Réalisation Nicolas Nony.]

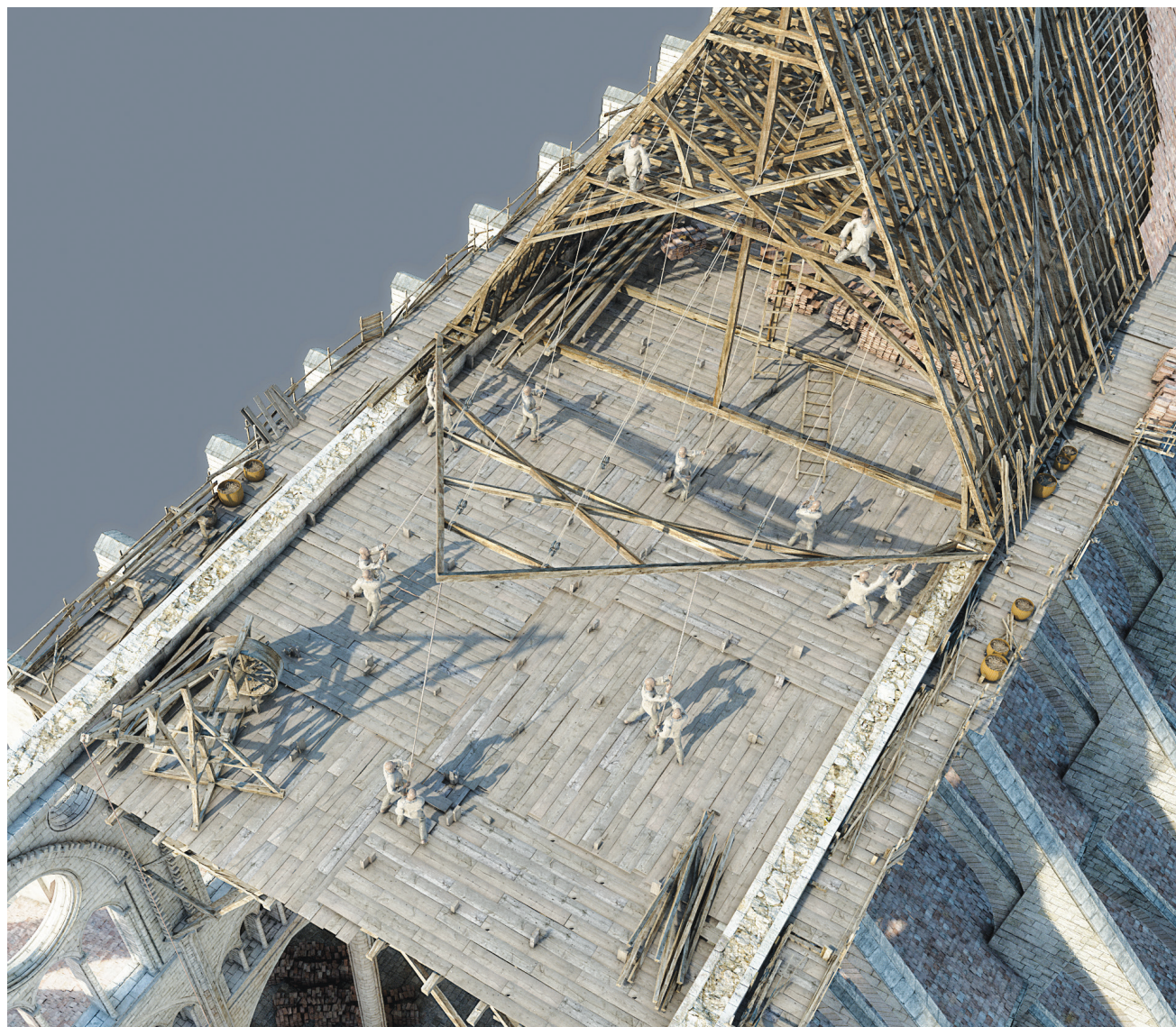


Fig. IV-11 › La ferme ainsi reconstruite est levée à son emplacement définitif à l'aide de cordages et de poulies. [Réalisation Nicolas Nony.]

LE LEVAGE DE LA CHARPENTE ET LA QUESTION DES VOÛTES

Les textes, l'iconographie et l'archéologie ne permettent pas de savoir comment une charpente à chevrons-formant-fermes de cette dimension pouvait être levée. Il faut exclure l'hypothèse d'un levage avec une grue qui monterait depuis le sol des fermes déjà assemblées car celles-ci se briseraient inévitablement en raison du poids, de la fragilité des longs bois et des assemblages. Par ailleurs, cela supposerait un engin très puissant, mobile le long des murs gouttereaux et ayant un bras de levier plus haut que la charpente pour la manipulation des fermes, ce qui apparaît peu vraisemblable. La solution la plus logique et la plus compatible avec les techniques du XIII^e siècle serait la mise en place d'un vaste plancher de travail établi en haut des murs à la hauteur des sablières, en appui sur un grand échafaudage (fig. IV-10 et IV-11). Ce plancher offrirait aux charpentiers un vaste espace de travail qui autorise le stockage des bois, la manutention en toute sécurité des grandes pièces, la présence de nombreux manœuvriers

et, surtout, l'espace nécessaire au réassemblage d'une ferme et à son levage. Les bois de plusieurs fermes seraient ainsi montés un à un depuis l'intérieur du vaisseau central à l'aide d'une chèvre de levage, puis stockés par type de pièce et rangés selon leur marque. Chaque ferme serait ensuite réassemblée sur ce plancher en respectant le marquage des bois, puis levée à l'aide de cordages et de poulies depuis les fermes déjà levées. Toutes les fermes pouvaient ainsi être levées les unes après les autres, en reculant le plancher de travail après le levage d'une série complète de fermes. Le dispositif longitudinal axial était mis en place progressivement avec les liernes hautes montées avec chaque ferme principale, tandis que les liernes basses et les écharpes étaient installées sur plusieurs travées déjà constituées, pour la nef comme pour le chœur. Les longrines du contreventement des chevrons étaient montées une fois après la mise en place de plusieurs travées.

Selon ce principe de levage, le sens d'enfoncement des chevilles des fermes indique par conséquent le sens de progression du chantier, puisque ces chevilles sont nécessairement enfoncées à la verticale sur la ferme remontée à plat sur ce plancher, avant que celle-ci ne soit redressée. Ce sens de chevillage coïncide avec la numérotation des fermes qui progresse de l'ouest vers l'est pour la nef et de l'est vers l'ouest pour le chœur. À l'achèvement de la charpente du chœur au droit de la 8^e pile, contre la charpente de la nef, l'espace n'était plus suffisant pour effectuer le levage des fermes. Sur les dernières travées, les fermes levées devaient donc être accolées les unes contre les autres pour gagner de la place jusqu'au levage de la dernière ferme, avant de les déplacer à la verticale pour les disposer à leur emplacement définitif.

La surface d'un tel plancher de travail devait couvrir toute la largeur du vaisseau et avoir une longueur de plusieurs travées pour effectuer en une seule phase le levage d'un ensemble cohérent de fermes, avant de devoir démonter le plancher et le déplacer. D'après la numérotation des fermes et le contremarquage, la charpente se subdivise en plusieurs séries cohérentes de 17 à 30 fermes chacune, dans la nef et le chœur (fig. IV-4). Il est donc probable que chacun de ces lots (cinq dans la nef et deux dans le chœur), à la numérotation continue, corresponde à une phase de levage pour lesquelles les fermes furent levées en une seule opération, à partir du même plancher de travail.

On peut aussi supposer que chaque opération de levage intervient après l'achèvement au sol d'une série complète de fermes et que ce montage mobilise tous les charpentiers ayant participé à leur exécution. En effet, le remontage des fermes et du dispositif longitudinal, relativement complexe, nécessite une main-d'œuvre experte comprenant le fonctionnement de la structure, des assemblages et sachant reconnaître le marquage des bois, ce que seuls les charpentiers eux-mêmes pouvaient faire. Ainsi, il est fortement probable que chaque opération de levage succédait à l'exécution d'une série continue de fermes et qu'elle se faisait par la même équipe de charpentiers.

La charpente de la nef aurait donc été dressée en cinq phases en 1256 et celle du chœur, croupe comprise, en deux phases l'année suivante, chacune correspondant à l'exécution d'une série numérotée de fermes, à la mise en place du plancher de travail puis à leur levage, ce qui représente à chaque fois un plancher de 15 à 20 m de long qui aurait été démonté puis déplacé de phase en phase.

Cette solution prévoyant un plancher de travail à hauteur des sablières a déjà été expérimentée avec succès lors de la reconstitution d'une charpente de ce type⁵ (fig. IV-12). D'après cette expérimentation en grandeur réelle, elle semble être la plus adaptée aux contraintes d'un chantier de grande envergure. Toutefois, elle suppose, pour le soutien du plancher, la présence d'un échafaudage d'une portée de 14 m et d'une longueur de plusieurs travées, constitué de nombreuses perches inclinées en appui sur le triforium, avec des encorbellements successifs pour le franchissement du vide et la reprise des charges.

On conçoit donc difficilement comment cet échafaudage pouvait s'insérer au-dessus des voûtes sexpartites dont l'extrados touchait presque les entrants des fermes, dans l'état restitué du XIII^e siècle. Les reins des voûtes sont trop éloignés les uns des autres et trop proches de la charpente pour y recevoir l'appui d'un échafaudage suffisamment rigide. Par ailleurs, la nécessité de lever les bois longs (14 m pour les chevrons) à la verticale du chantier et suivant sa progression sur toute la longueur du vaisseau suppose que le sol était accessible sur la nef et le chœur. Ainsi, il est plus que probable que les voûtes sexpartites du vaisseau central sur la nef et le chœur aient été construites seulement après l'achèvement définitif du montage de la charpente en 1257. Ceci confirmerait donc l'hypothèse avancée par M. Ferauge et P. Mignerey selon laquelle l'arc inférieur de la première volée des arcs-boutants, destiné aux poussées des voûtes, a été rajouté dans un second temps sur la culée intermédiaire, sous l'arc supérieur qui sert à contreventer le mur gouttereau, d'après leurs observations faites sur les seuls arcs-boutants conservés intacts du XIII^e siècle, au nord de l'abside⁶. Ces arcs inférieurs auraient donc été mis en place lors de la construction des voûtes sexpartites, après l'achèvement de la grande charpente.

Par ailleurs, au droit des 7^e et 8^e piles, on peut observer que les deux arcs diaphragmes qui enjambent le vaisseau central (fig. I-12) et servaient à porter la flèche rajoutée en 1263, peu après l'achèvement de la charpente en 1257, sont recoupés par les maçonneries de la voûte qui mordent l'intrados de ces arcs. Les grandes voûtes sexpartites auraient alors été construites sur le vaisseau central après la reconstruction des travées centrales et le rajout de la flèche en 1263, ce qui serait



Fig. IV-12 > Reconstitution d'une charpente du XIII^e siècle avec remontage puis levage des fermes depuis un plancher de travail en haut des murs. Chantier de Guédelon (Yonne), 2010.

logique pour les besoins de ce chantier, confronté aux mêmes contraintes de levage des bois depuis le sol et de dressage des structures depuis un plancher de travail.

Toutes ces opérations de manutention ont laissé des traces sur les bois pour l'accroche des cordes, sous la forme d'entailles sur les arêtes des pièces, et aussi pour l'assemblage d'éléments provisoires de contreventement des fermes. En effet, sur toutes les fermes du chœur, on observe un chevillage en tête de chaque chevron, en face inférieure, à 50 cm sous le faux-entrait (fig. IV-13). Ces chevilles sont alignées entre elles sur toutes les fermes et pouvaient servir soit au levage des fermes pour la fixation des cordes, soit à la fixation de perches provisoires nécessaires au maintien des fermes dans l'attente de la mise en place des contreventements longitudinaux et du lattis.

De même, on observe dans le chœur, de F109 à F116, des chevillages peu profonds non traversants et toujours en face est, au milieu des aisseliers (fig. IV-14), en tête des écharpes et à chaque bout de l'entrait retroussé. Ces trous de 2 cm de diamètre qui, pour certains, possèdent



Fig. IV-13 > Chevillage des chevrons en face inférieure, à 50 cm sous les faux-entraits.

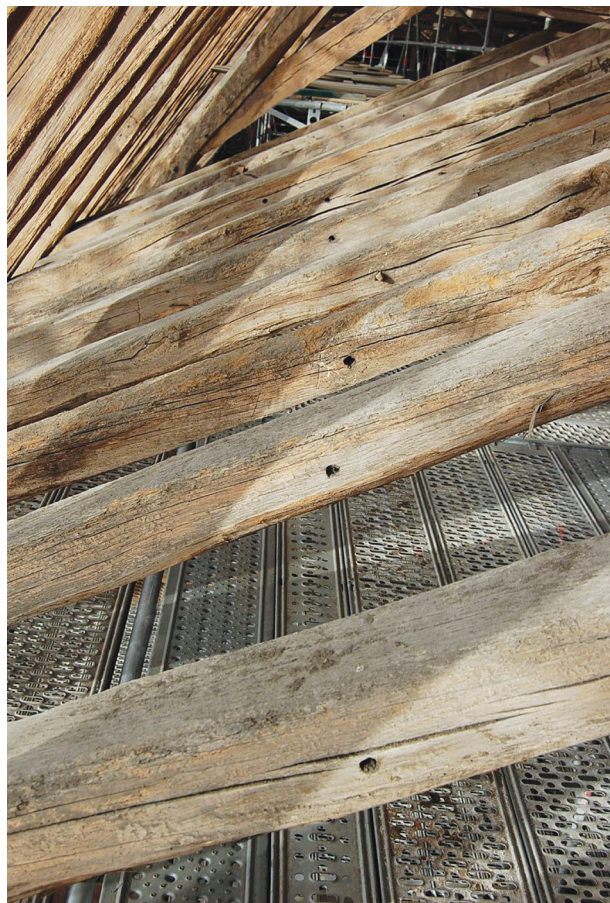


Fig. IV-14 > Chevillage des écharpes sur leur face est.



Fig. IV-15 > Restitution du raidissement provisoire des pièces d'une ferme secondaire.

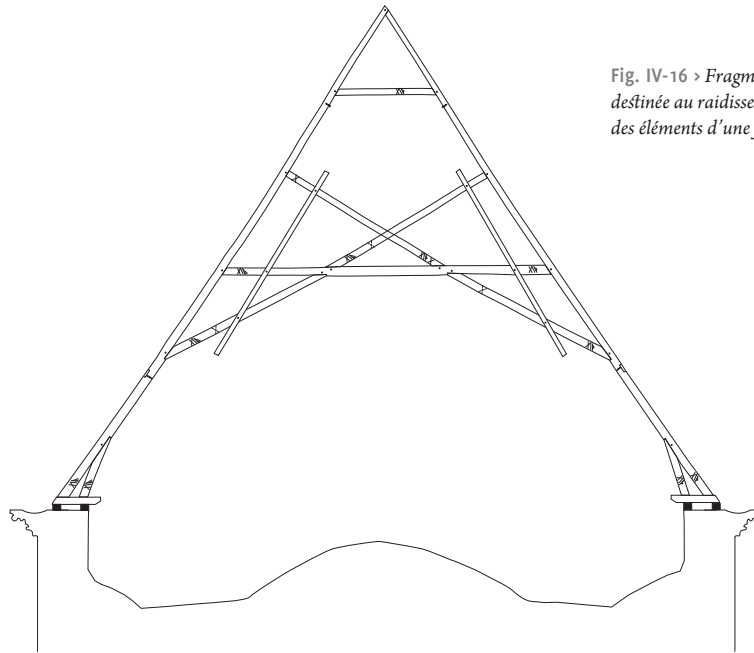


Fig. IV-16 > Fragment de latte destinée au raidissement des éléments d'une ferme.

encore leur cheville sont alignés entre eux dans le plan de la ferme et ont manifestement été percés ensemble. Ce chevillage servait donc à la fixation de deux perches ou de planches dans le plan de chaque ferme pour étréssillonner et raidir ensemble les écharpes, l'entrait retroussé et les aisseliers (fig. IV-15). Ces perches permettaient ainsi de contenir le ploiement des bois et éviter la rupture des assemblages au cours du levage de la ferme. Sur la ferme 161, le fragment d'une grande latte, fixée selon les mêmes dispositions à l'aisseleur et à l'entrait retroussé, non pas par des chevilles mais par des clous, subsiste encore (fig. IV-16).

Il faut aussi noter que le flanc des entrails du chœur, à chaque extrémité, sont systématiquement percés de trous de cheville, traversants ou non, toujours sur la face est, avec souvent la cheville encore conservée dedans, coupée à la surface du bois. Parfois, comme sur l'entrait de F132, un deuxième chevillage vient repercer un précédent au même emplacement, ce qui suppose qu'il a peut-être été fait à l'aveugle, à travers une planche. Comme cette ferme a servi de ferme-épure, peut-être faut-il imaginer un système de fixation particulier.

Enfin, comme dans la plupart des charpentes médiévales et modernes, certaines poutres maîtresses ont servi d'échelle de perroquets aux charpentiers pour pouvoir accéder aux parties hautes de la charpente lors du levage. Tous les poinçons ont ainsi été percés de trous de cheville sur leurs flancs nord et sud pour y fixer des grosses chevilles à intervalles réguliers, tous les 80-90 cm.

LE TEMPS DE RÉALISATION DES CHARPENTES

Que représente, en nombre de jours ou de mois de travail, la réalisation d'une charpente aussi vaste que celle du vaisseau central, de l'équarrissage au levage des fermes ?

Pour l'équarrissage à la doloire, d'après l'expérience de charpentiers traditionnels travaillant à la hache depuis des années, il faut en moyenne une heure par homme pour équarrir un mètre de longueur d'une grume de chêne sur ses quatre faces, soit 6 heures/homme pour obtenir un chevron à partir d'une grume de 6 m et de 25-30 cm de diamètre. Pour la charpente du grand vaisseau, on compte 10 734 m linéaires de grumes de 23-32 cm de diamètre à équarrir (97 % des bois, Types 1 et 2) et 435 ml de bois de forte section (38-45 cm, Type 3), prenant plus de temps à équarrir. Cela représente donc pour tous les bois de la nef 6 200 heures/homme, soit environ 3 mois de travail pour une équipe de 10 équarrisseurs travaillant 8 heures par jour et 6 jours par semaine, et 5 400 heures/homme pour les bois du chœur, soit deux mois et demi par la même équipe. Ces travaux d'équarrissage pouvaient donc être réalisés en une seule saison, durant l'automne-hiver 1255-1256, juste avant la mise en œuvre pour les bois de la nef, et l'automne-hiver 1256-1257 pour ceux du chœur, par une équipe de 10 hommes, en même temps que s'achevaient les derniers abattages.

Concernant le temps de travail pris pour l'exécution de la charpente, à savoir les opérations de piquage, la taille des assemblages et la mise-dedans, la durée est plus difficile à évaluer. En se basant sur la restitution expérimentale d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle à Guédelon où il fallut deux jours et demi pour l'exécution d'une ferme secondaire par trois charpentiers, et en rapportant cela aux fermes de Bourges en tenant compte des proportions, du nombre d'assemblages et de la manutention des longs bois, on peut évaluer à quatre jours de travail pour quatre charpentiers le temps nécessaire à la réalisation d'une ferme secondaire, à cinq jours à quatre hommes pour une ferme principale et deux jours pour le contreventement sur une travée, toujours à quatre charpentiers. Ainsi, l'exécution de la charpente de la nef représenterait trois mois de travail à une équipe de vingt charpentiers et deux mois et demi pour celle du chœur à cette même équipe. Là encore, on se rend compte qu'avec une équipe nombreuse, l'exécution des charpentes de la nef et du chœur pouvait logiquement être faite en une seule année, durant le printemps et l'été qui suivaient les derniers abattages et le travail d'équarrissage.

Une fois les fermes exécutées, restait à lever la structure en haut du vaisseau. Là encore, l'expérimentation de Guédelon a permis d'apporter des informations précieuses sur le temps de levage d'une charpente à chevrons-formant-fermes, avec les engins de l'époque (chèvre, cage d'écureuil, cordages). Comme décrit précédemment, les bois sont montés individuellement jusqu'à un vaste plancher de travail en haut des murs et sur lequel chaque ferme est remontée puis levée l'une après l'autre à l'aide de chèvres et de cordages relayés par des poulies aux parties hautes des fermes déjà levées. À Guédelon, l'approvisionnement, le montage des bois sur le plancher de travail, la pose des sablières, le réassemblage des fermes puis leur levage, pour une travée complète de neuf fermes, sablières comprises, a demandé quatre jours de travail pour dix hommes⁷, sans compter le montage et le déplacement de la cage d'écureuil. Pour la charpente de la cathédrale, vu les précautions à prendre du fait de la longueur des bois et la grande portée des fermes, on peut estimer à une journée maximum le temps de remontage et de levage d'une ferme pour dix hommes. Ainsi, il est possible d'envisager quatre mois environ le temps nécessaire pour le levage de l'ensemble des fermes et du contreventement de la charpente de la nef, avec une équipe de dix à quinze hommes. Pour la charpente du chœur, ce temps s'évalue à 80 jours, soit 3 mois avec la même équipe. Comme cela a été évoqué précédemment, les opérations d'exécution et de levage devaient s'alterner entre les cinq séries numérotées en continu

de fermes de la nef et les deux du chœur, le temps de démonter et de déplacer le plancher de travail et son échafaudage. Il devait certainement exister une équipe spécifique de manouvriers dévolue au déplacement de cet échafaudage afin de ne pas démobiliser les charpentiers.

Ainsi, mis bout à bout, depuis l'équarrissage jusqu'au levage des fermes, la mise en œuvre de la charpente de la nef pouvait demander dix mois de travail pour une équipe de dix à vingt hommes et neuf mois environ pour celle de la charpente du chœur. Ces deux chantiers ont donc pu se succéder logiquement sur deux ans (1256-1257), avec d'abord la réalisation de la charpente de la nef, suivie aussitôt par celle du chœur avec la même équipe de charpentiers et de manouvriers.

NOTES

- 1 › F141, entrait retroussé.
- 2 › F21, chevron nord ; F26, aisselier nord ; F32, jambe de force sud ; F41, chevron nord ; F54, écharpe sud.
- 3 › F58, aisselier nord ; F59, grande écharpe nord et entrait retroussé daté de 1254d ; F60, entrait retroussé ; F61, deux grandes écharpes ; F64, entrait retroussé et grande écharpe sud (réemploi) ; F67, aisseliers nord et sud (réemplois).
- 4 › Jacquet 2003, p. 328.
- 5 › Sur le site du château de Guédelon (Yonne), une charpente à chevrons-formant-fermes, reconstituée selon les techniques et les structures de charpenterie du XIII^e siècle, a été levée selon cette méthode sur un logis de 24 m de long sur 8 m de large.
- 6 › Ferauge et Mignerey 1996, p. 142.
- 7 › L'approvisionnement, le montage des bois sur le plancher de travail et la pose du carré de la travée (sablières, entrants et poutres de rive) ont demandé deux jours de travail et le réassemblage puis le levage des neuf fermes ont nécessité une journée et demie, soit quarante minutes maximum par ferme.





LE BEFFROI DE LA TOUR OCCIDENTALE SUD

LES MAÇONNERIES DE LA NEF et des deux tours de la façade occidentale furent construites simultanément, sans interruption et par strates horizontales, comme le confirment l'unicité stylistique, l'absence de rupture d'appareil et un chaînage métallique qui raidit longitudinalement les baies hautes de la nef. Le début de ce vaste chantier est situé vers 1225 selon R. Branner tandis que son achèvement est à placer entre 1256 pour la nef et 1270 pour la tour sud, d'après les analyses dendrochronologiques faites sur son beffroi. En effet, la tour sud occidentale possède encore au dernier étage son beffroi d'origine, dans un état de conservation remarquable (fig. V-1 et V-2). La tour nord, quant à elle, fut entièrement reconstruite au XVI^e siècle et ne permet pas d'apporter d'information sur le chantier du XIII^e.

LES BOIS

Les 32 prélèvements réalisés sur les bois du beffroi de la tour sud ont permis de dater à l'année près 11 bois avec cambium (annexe 3). D'après cet échantillonnage, les bois verts de ce beffroi ont été abattus entre l'automne-hiver 1268-1269 et l'automne-hiver 1269-1270 (en rouge sur les relevés) (fig. V-3 à V-6). Ils concernent tous les poteaux et une partie des sablières, des traverses et des écharpes. Ces dates d'abattage désignent donc une mise en œuvre du beffroi en 1270 ou peu après. Ces bois viennent compléter un lot important de pièces en réemploi (en bleu sur les relevés), utilisées pour les traverses et les



Fig. V-1 > Vue de la tour occidentale sud, face orientale.



Fig. V-2 > Vue intérieure du beffroi.

écharpes, provenant d'autres structures ou de stocks de bois taillés mais inutilisés au cours des précédents chantiers. Ces réemplois appartiennent bien à la phase de construction du beffroi puisqu'elles portent le même marquage que les bois utilisés verts. Ils furent abattus en automne-hiver 1259-1260, en automne-hiver 1260-1261 et vers 1230 pour au moins un d'entre eux. Les coupes de 1259-1261 coïncident avec celles des bois de la partie remaniée de la nef lors du rajout de la flèche, tandis que celle de 1230 correspond aux premiers abattages recensés pour les bois de la nef. Cependant, la disposition des entailles à mi-bois présentes sur ces réemplois ne s'accorde pas avec la structure de la charpente de la nef, que ce soit pour les fermes ou le contreventement longitudinal. Ces réemplois pourraient donc provenir d'une importante construction provisoire installée pour les besoins du chantier et démontée peu avant son achèvement, comme un entrepôt, une salle de travail, des loges ou autre type de bâtiment nécessaire à un chantier de grande ampleur. Ces bois réemployés présentent les mêmes sections que les autres pièces taillées dans des bois verts. Leur réutilisation ici s'expliquerait par leurs sections parfaitement adaptées aux besoins du beffroi.

L'ensemble de la structure fut remanié en partie inférieure aux XIV^e et XV^e siècles, puis au XX^e sur la charpente du comble qui fut entièrement reconstruite.



Toutes les pièces sont taillées dans des chênes équarris à la doloire, conservant le cœur du bois (bois de brin). Les bois de l'ossature sont de très forte section avec des poteaux allant de 34-34 cm à 40-41 cm à la base pour 11,70 m de hauteur ainsi que des salières et des traverses variant de 30-30 cm à 35-35 cm. Les poteaux sont donc issus de chênes de 50 à 60 cm de diamètre à la base et de plus de 12 m de hauteur, ce qui est tout à fait considérable. Les sablières et traverses pourraient logiquement correspondre aux parties sommitales du fût de ces arbres qui devaient largement dépasser les 12 m vu leur croissance longiligne et la relative absence de gros nœuds en tête. Les écharpes sont de plus faible section, de 17-18 cm en moyenne, excepté celles du pan médian est-ouest, de 23-20 cm.

Les gros bois du beffroi (poteaux, traverses et sablières) sont issus d'arbres âgés (entre 100 et 150 ans pour les poteaux) n'ayant pas ou peu subi les effets de fortes concurrences. D'après les analyses macroscopiques et microscopiques faites sur les échantillons du beffroi, un tiers des bois sont des chênes pédonculés, notamment trois poteaux, une traverse et deux sablières, les autres étant des sessiles comme dans le grand vaisseau¹. La croissance de ces gros bois est rapide et leur texture forte². D'un point de vue anatomique, l'aspect de la croissance radiale de ces chênes montre qu'ils sont issus d'un milieu ouvert au sol épais riche en eau.

En raison de leur faible nombre et de leurs dimensions exceptionnelles, il est fort probable que ces très gros chênes aient été sélectionnés par furetage dans une futaie éclaircie, sur des parcelles en fond de vallons où les terres fertiles et humides sont favorables aux pédonculés et à l'élancement de grands arbres³. Ces parcelles pourraient logiquement se situer au nord-ouest de la forêt de Saint-Palais qui est traversée de plusieurs vallons humides.

LA STRUCTURE

L'étude des beffrois médiévaux reste à faire puisque seule une dizaine de beffrois des XII^e-XIII^e siècles sont actuellement connus en France⁴. Cette découverte inédite permet ainsi de mieux comprendre la structure et le fonctionnement de ces grands ouvrages de bois destinés à porter les cloches au sein d'une église. Son relevé a pu être réalisé à l'aide d'un scanner 3D en raison de ses dimensions considérables (plus de 12 m de hauteur) et des difficultés d'accès. Un complément d'observation bois par bois a pu être réalisé en complément avec du matériel d'escalade.

Le beffroi est logé dans le dernier étage de la tour (fig. V-1) qui est ajouré sur chaque face par une grande baie géminée dont l'appui se situe juste au-dessus des sablières basses du beffroi. La partie sommitale du beffroi dépasse le haut des murs et pénètre profondément dans la toiture, à 3,30 m au-dessus de l'entablement, en portant une partie de la charpente du toit. Une tourelle d'escalier située à l'angle sud-est de la tour permet d'accéder à sa base ainsi qu'à sa toiture. Le beffroi repose sur un sol constitué de grandes dalles calcaires dont de nombreuses sont percées de trous pour le passage des cordes à sonner⁵. Ce sol n'est pas horizontal. Il s'incline légèrement le long d'un axe central ouest-est où est logé un canal d'évacuation des eaux qui débouche à l'extérieur dans une gargouille, à l'est. Ouvert sur ces quatre faces, cet étage était en effet exposé aux intempéries et aux eaux pluviales qui devaient rentrer lors de grands vents,

en dépit de probables abat-sons fixés aux baies comme aujourd'hui. Ce sol s'appuie sur un ressaut périphérique des murs et sur une épaisse voûte sur croisées d'ogives qui couvre l'étage inférieur et dont les reins ont été comblés de maçonneries.

La structure du beffroi est celle d'une grande tour de plan carré (fig. V-2), de 12,5 m de hauteur, constituée de plusieurs pans de bois assemblés les uns aux autres : quatre pans latéraux et deux pans médians qui s'entrecroisaient (un seul des deux subsiste). Ces pans de bois ont une ossature semblable avec trois longs poteaux assemblés en pied et en tête dans une sablière haute et basse et raidis par trois traverses horizontales (fig. V-3 à V-6). Ces pièces d'ossature sont assemblées par tenon et mortaise. Les poteaux d'angle sont communs aux pans latéraux, de même que les poteaux axiaux qui servent à la fixation des pans médians. Un jeu varié d'écharpes croisées assure le contreventement des pans en étant assemblées aux pièces d'ossature par tenon et mortaise et par mi-bois. Les pans orientés est-ouest (pans nord, sud et médian est-ouest) ont toutes leurs écharpes doublées, reliées par des clavettes chevillées, qui viennent prendre en moise les traverses (fig. V-7). Ces trois pans sont donc bien mieux contreventés que ceux orientés nord-sud. Ce renforcement est bien entendu lié au mouvement des cloches qui étaient fixées aux traverses hautes de ces pans et qui se balançaient dans le sens est-ouest.

Le plan du beffroi dessine au sol un carré de 6,90 m de côté. Les sablières basses d'origine, aujourd'hui disparues, s'entrecroisaient par mi-bois et s'encastraient aux extrémités dans des logements aménagés dans les murs. Au sommet du beffroi, le carré des sablières hautes n'est plus que de 5,90 m. Le beffroi n'est donc pas vertical. Il correspond plutôt à une tour pyramidale tronquée. En effet, tous les poteaux des pans latéraux sont inclinés de 2° environ vers l'intérieur. Cette particularité s'explique pour une meilleure stabilité de l'ossature afin de mieux résister au branle des cloches et aussi pour des raisons de levage. En effet, le beffroi a été levé et assemblé pièce par pièce depuis l'intérieur de la tour, une fois les maçonneries achevées. Des trous de boulin disposés derrière des poteaux en témoignent et prouvent que l'échafaudage destiné à la construction des murs a été mis en place avant la pose des poteaux. Le beffroi fut donc levé après l'achèvement de la tour avec un levage des poteaux qui a dû se faire un à un depuis l'ouverture des grandes baies. L'inclinaison des poteaux permettait ainsi l'engagement des tenons-mortaises des traverses et le montage de la structure.

L'exposition du beffroi aux vents et aux pluies à travers les grandes baies a fortement érodé la surface des pièces et a fait disparaître une grande quantité des marques d'assemblage. Les rares qui subsistent, surtout en partie haute du beffroi, sont néanmoins riches en information. Elles montrent une numérotation des pièces par des chiffres romains complétés par une contre-marque pour les distinguer de travée en travée, de poteau à poteau. Les travées de deux pans perpendiculaires assemblés au même poteau portent un marquage et une contre-marque identiques. L'information la plus intéressante concerne le type de contre-marque utilisé puisqu'on retrouve les mêmes que celles utilisées sur les charpentes de la nef et du chœur du vaisseau principal, notamment le bec qui est une contre-marque très rare au XIII^e siècle. L'emploi de ce marquage prouve que ce beffroi a été exécuté par les mêmes équipes de charpentiers que celles ayant réalisé les grandes charpentes quelques années auparavant.

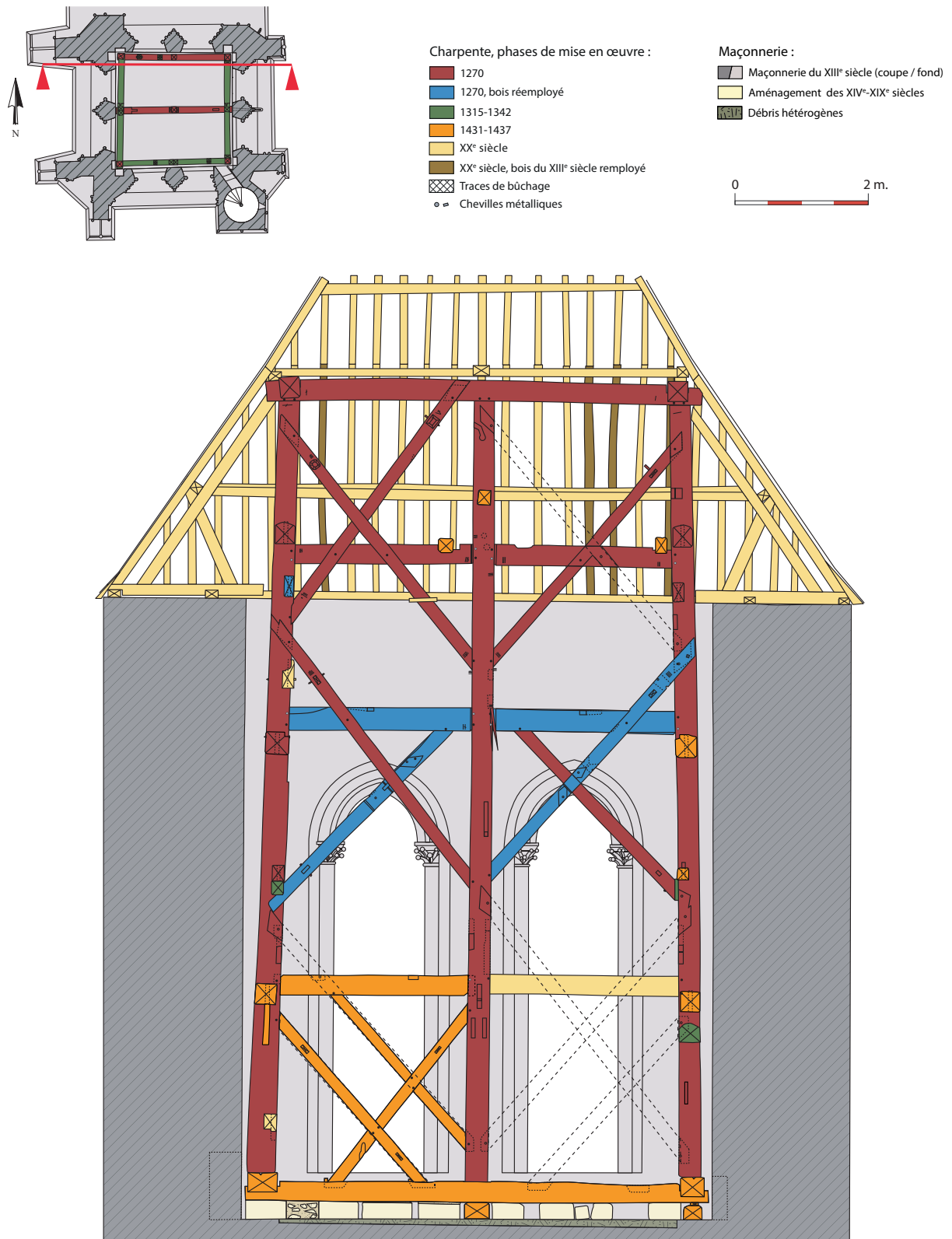


Fig. V-3 > Pan nord.

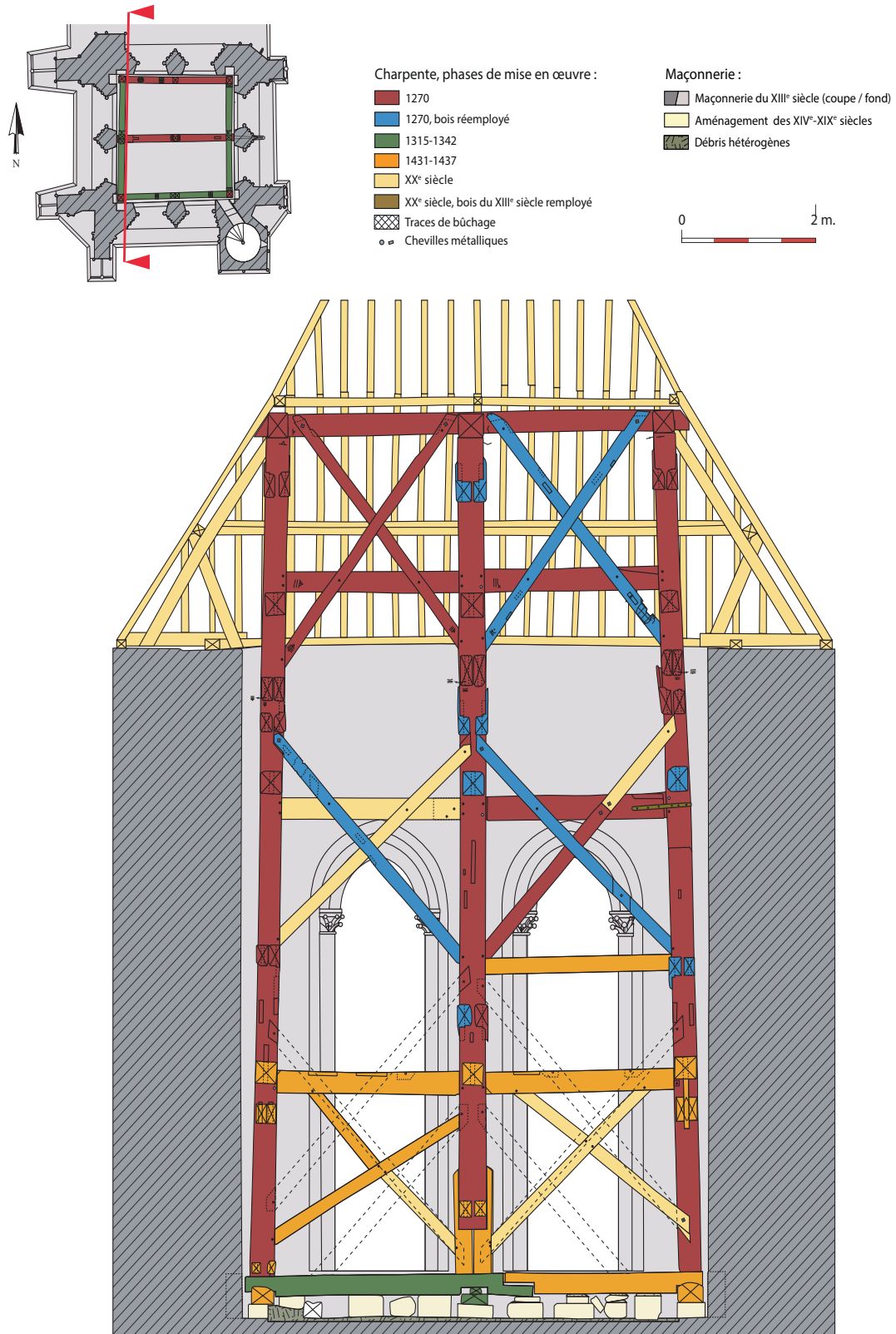


Fig. V-4 > Pan ouest.

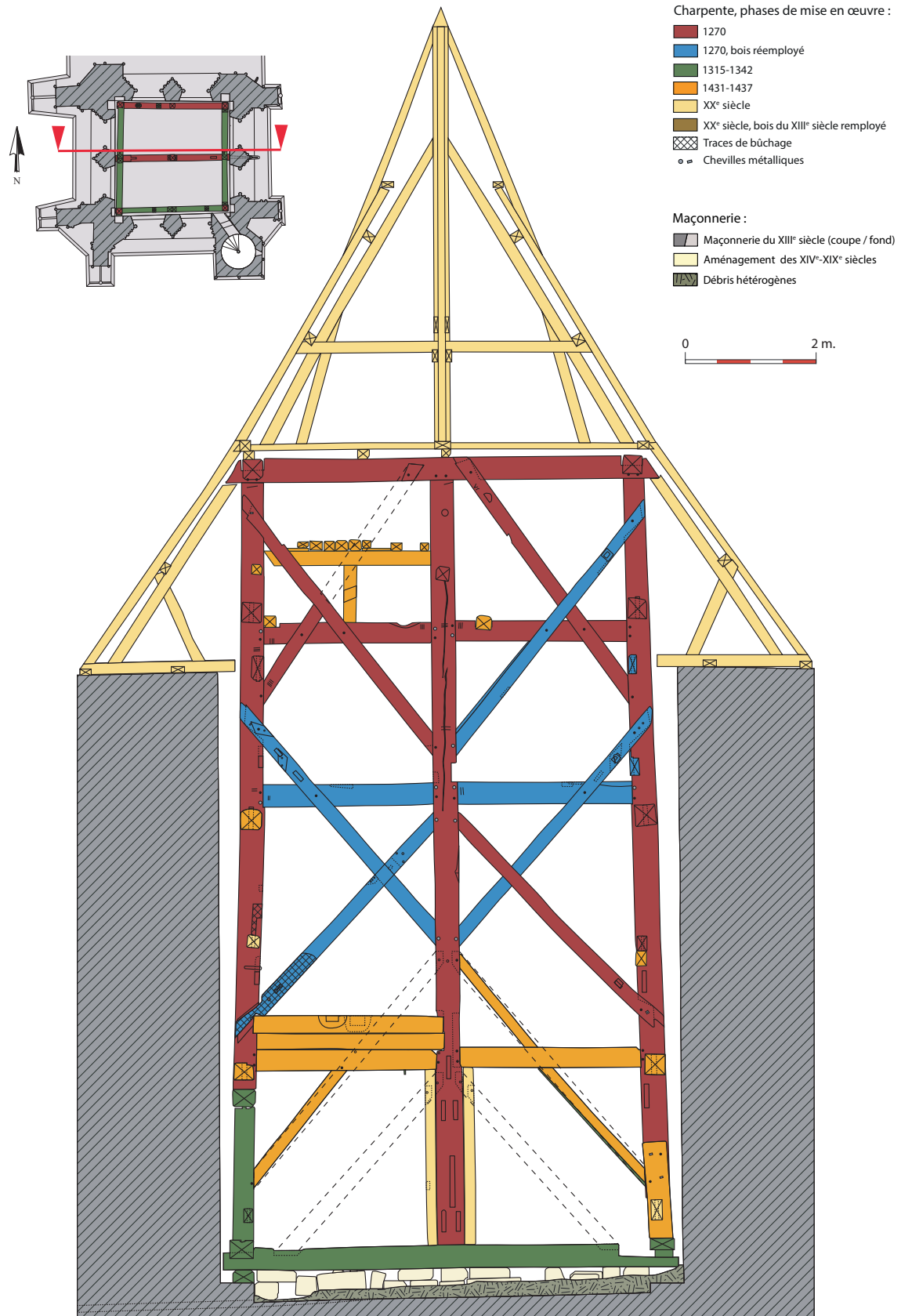


Fig. V-5 > Pan médian est-ouest, face nord.

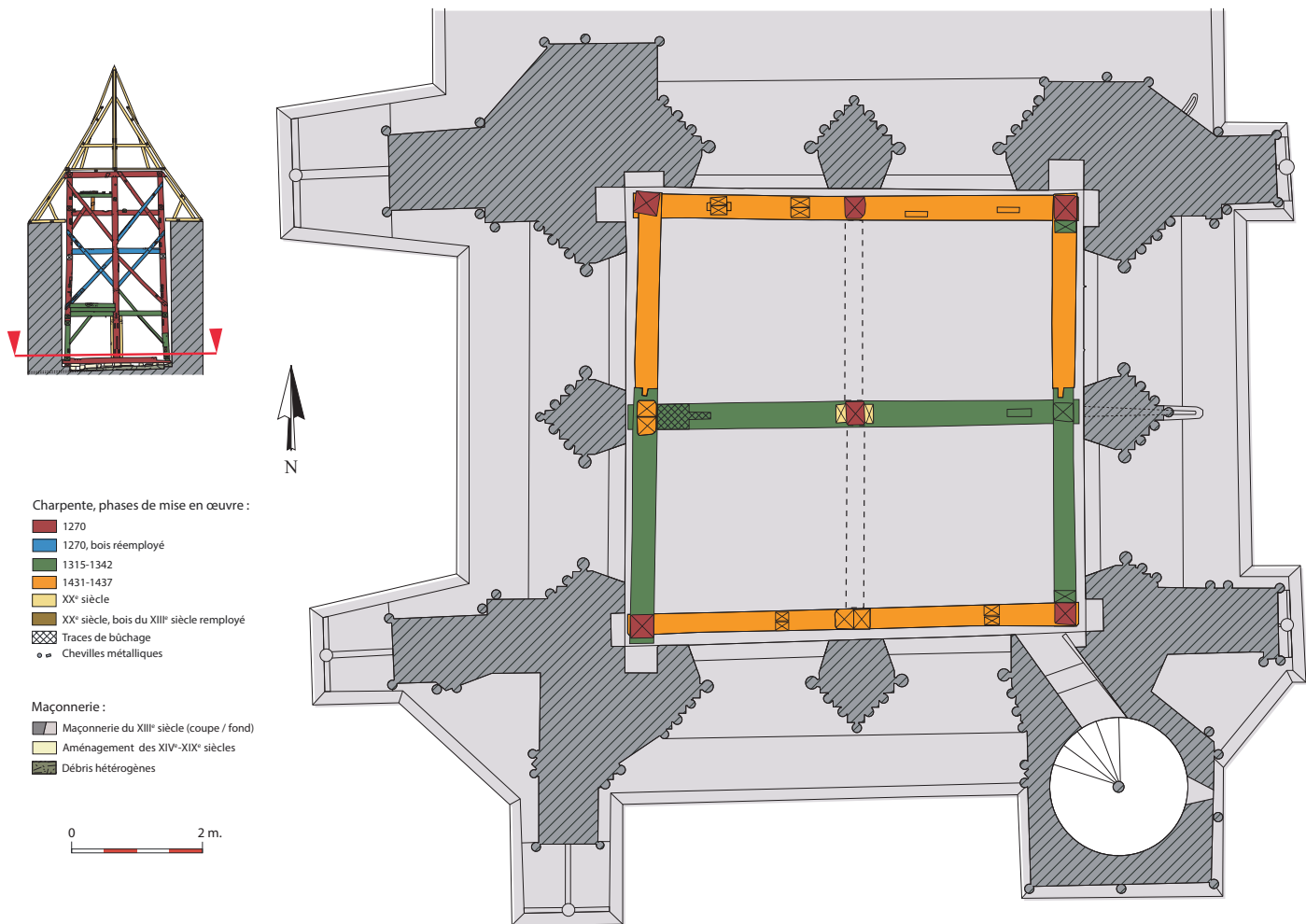


Fig. V-6 > Plan du beffroi au niveau des sablières basses.



Fig. V-7 > Écharpes doubles assemblées par des clavettes chevillées.



La partie inférieure du beffroi, la plus exposée aux intempéries, a été reprise en sous-œuvre une première fois entre 1315 et 1342, avec le remplacement de plusieurs sablières basses, des écharpes inférieures et d'une traverse sur le pan est. Une deuxième reprise plus importante est survenue entre 1431 et 1437 avec le remplacement de toutes les autres sablières basses, de nombreuses écharpes et de toutes les traverses du premier niveau. D'autres traverses furent aussi rajoutées au deuxième et au dernier niveau. Enfin, au ^{xx}e siècle, toute la charpente de la toiture fut intégralement remplacée. Seuls quelques chevrons épars furent réemployés dans le chevronnage actuel. À cette occasion, dans le beffroi, deux traverses du premier niveau furent de nouveau remplacées avec quelques écharpes.

Les cloches étaient fixées à l'origine sur les traverses du troisième niveau des pans nord, sud et médian est-ouest. Les négatifs d'ancrages des moutons des cloches en témoignent, de même que la disposition des écharpes du dernier niveau qui sont décentrées pour loger en partie centrale de ces pans le dispositif de fixation. Leur balancement se faisait donc dans le sens est-ouest. Ce sens explique donc les renforts des pans nord, sud et médian est-ouest avec le doublement de leurs écharpes. On comprend mieux aussi la disposition des écharpes du pan médian est-ouest qui sert à contrebuter principalement le poteau central, le plus soumis aux vibrations. Il est fortement probable que les traverses du deuxième niveau et les sablières hautes des mêmes pans aient pu aussi recevoir des cloches même si les traces sont moins convaincantes. Des pièces intermédiaires auraient pu servir à les asseoir, laissant peu de traces sur les pièces de supports. Cette hypothèse est fortement envisageable puisque le pan médian nord-sud était limité, d'après les entailles à mi-bois des poteaux, à un contreventement au premier niveau seulement. Aucune traverse – sablière haute et écharpe – ne reliait les trois poteaux entre eux, excepté en partie basse. Cette absence de raidissement autorisait donc le balancement des cloches sur les différents niveaux de traverses et sablières hautes du beffroi des pans nord, sud et médian est-ouest.

Il est difficile d'établir des comparaisons avec d'autres beffrois en raison de leur rareté pour le ^{xiii}e siècle et de la quasi-absence de relevés. Seuls ceux de la cathédrale de Bayeux et de l'église abbatiale Saint-Pierre de Chartres sont bien datés, de la fin du ^{xiii}e siècle, mais leur structure est différente. Le seul point commun avec celui de Saint-Pierre de Chartres, comme avec d'autres beffrois plus petits⁶, est le dépassement en hauteur du beffroi sur plusieurs mètres des murs de la tour, pour aider à porter la charpente du toit, et l'inclinaison des poteaux d'ossature. La représentation de la tour de la cathédrale par Jean Colombe vers 1480 (fig. I-11) pourrait donc être fidèle à la toiture d'origine avec le fût du beffroi qui dépasse de la tour, bordé de coyaux, et portant une toiture à quatre pans de faible pente.

NOTES

¹ > Ghazil 2017, p. 37. Chêne pédonculé : 4 et 4B (poteau NO), 6 (traverse N du pan E, 3^e niveau), 7 et 7B (poteau médian du pan E), 11 (écharpe, 3^e niveau, pan médian), 14 (poteau central du pan médian), 19 (sablière haute du pan O), 32 (sablière déposée).

² > La texture est définie par la largeur du bois final (plus dense que le bois initial de printemps) rapportée à la largeur totale du cerne. Une texture forte caractérise chez le chêne les bois à croissance rapide, plus riche en bois d'été (bois final).



- 3 › À voir notamment les chênes extraordinaires de 50 m de hauteur situés en fond de vallée de l'Ermitière dans la forêt de Bercé (Sarthe).
- 4 › Citons les beffrois de la fin du XII^e siècle de la cathédrale de Bayeux, de l'église Saint-Pierre de Chartres, du XIII^e siècle de la cathédrale de Lisieux et des petites églises paroissiales de Selles (Eure), d'Harcourt (Eure), de Savonnières (Indre-et-Loire), etc.
- 5 › Dégagé sur une faible surface des détritiques qui le recouvraient, ce sol montre de nombreux graffiti de damiers d'échiquiers et de jeux de marelle. Cette couche de détritiques a livré un abondant mobilier médiéval (céramiques, verres, cuirs, parchemins, os, tuiles, fragments de pierres taillées...) qui témoigne d'un dépôt continu depuis l'origine.
- 6 › Selles et Harcourt dans l'Eure.



SYNTHÈSE GÉNÉRALE

LA CONSTRUCTION DU CHŒUR GOTHIQUE commença vers 1195 et évolua vers l'ouest en trois phases successives. À partir du début de la seconde phase, l'ancien chœur roman fut détruit et l'exercice du culte fut alors transféré dans la nef romane. À l'issue de ces trois phases de chantier, vers 1214, l'édification du chevet devait être suffisamment avancée pour que le culte y soit de nouveau exercé, d'après une charte qui relate à cette date des offices religieux dans le déambulatoire et le chœur¹. Cependant, si les murs hauts devaient être achevés et pourvus de vitraux, il fallut attendre encore presque 50 ans pour que les grandes voûtes sexpartites soient posées. Dans cette attente, le vaisseau principal était couvert d'une toiture provisoire constituée très vraisemblablement du réemploi de l'ancienne charpente romane. En effet, le vaisseau roman était précisément de même largeur et les anciennes fermes pouvaient dès lors être démontées et remontées provisoirement sur le nouveau chevet gothique.

Pour fermer temporairement le nouveau chœur à l'ouest afin de protéger les offices du vent et des désagréments du chantier de la nef, une clôture provisoire fut mise en place au droit de la 8^e pile sur toute l'élévation du vaisseau central et des collatéraux, avec deux accès dans ces derniers.

Le chantier de la nef débuta par d'importants travaux de terrassement avec l'arasement de la cathédrale romane et le rehaussement du sol de plus de 3 m. Les élévations furent érigées de façon homogène par strates horizontales, avec les tours occidentales, à partir de 1225 selon R. Braner, plus tôt selon J.-Y. Ribault. Elles furent achevées au plus tard en 1256 avec la mise en œuvre de la charpente sur la nef, suivie aussitôt de celle du chœur en 1257, après dépose de la toiture provisoire.

Les difficultés rencontrées par le chapitre et l'archevêque pour financer le chantier de la nef furent nombreuses et d'importants emprunts furent contractés, comme en témoignent les sollicitations au pape Grégoire IX en 1237 et 1241 pour permettre de soulager les dettes de l'église de Bourges. Un emprunt fut encore effectué en 1266 avec 200 livres pour le bénéfice de la fabrique. Ces difficultés financières expliquent pourquoi l'approvisionnement en bois d'œuvre de la grande charpente, estimé à 1 200 chênes environ, fut anticipé très tôt avec les premières coupes d'abattage dès 1230, soit au début du chantier de la nef, 26 ans avant la pose de la charpente. Cet approvisionnement sur le très long terme regroupe au moins 21 campagnes d'abattage pour la charpente de la nef, dont deux importantes entre 1240 et 1244 et en automne-hiver 1254-1255 pour une mise en œuvre de la charpente en 1256. Les bois de la charpente du chœur ont quant à eux été réunis à l'issue d'une unique grande coupe en automne-hiver 1256-1257, complétés de quelques bois résiduels des coupes précédentes, pour une exécution et un levage en 1257 ou peu après. Les coupes successives effectuées pour la nef pendant 26 ans témoignent d'un financement du chantier par intermittence lié à des achats ponctuels, des donations de bois et des concessions dans différentes parcelles forestières qu'il fallait exploiter rapidement, contrairement aux dernières grandes coupes des années 1254-1257 qui furent financées promptement pour compléter les stocks en raison de l'imminence du chantier.

Tous ces bois proviendraient de la forêt de Saint-Palais située à une vingtaine de kilomètres au nord de Bourges, alors propriété de l'archevêque et du chapitre Saint-Étienne.

La programmation des abattages était distincte entre les bois de la nef et ceux du chœur puisque les bois abattus entre 1230 et l'automne-hiver 1255-1256 pour la nef ont des sections plus faibles que ceux coupés juste après, en automne-hiver 1256-1257, présents exclusivement dans la charpente du chœur. Ces derniers abattages ont été réalisés alors même que la charpente de la nef était achevée ou en cours d'exécution. Il est remarquable que les abattages des bois de la charpente de la nef aient respecté les mêmes mesures pendant 26 ans.

Les bois abattus entre 1230 et 1255 pour la nef furent stockés dans l'attente de leur mise en œuvre. Ils furent conservés en forêt à l'état de grume dans une zone humide et fraîche à l'abri des éclaircies et des vents, probablement en fond de vallon, jusqu'à leur acheminement au chantier. Que ce soient les bois stockés de la nef, ceux abattus juste après pour le chœur en automne-hiver 1256-1257, ceux coupés pour la reprise de la nef entre 1259 et 1262 et enfin ceux du beffroi en 1268-1270, dès qu'ils furent amenés au chantier, ils furent systématiquement attaqués par la Grosse Vrilette suite au changement des conditions hygrométriques. Face à ces attaques massives, tous les bois contaminés furent traités par fumage. Les bois furent empilés perpendiculairement les uns aux autres, puis fumés à l'aide de fagots dans un espace couvert à proximité du chantier. Lors du fumage, des bois furent brûlés accidentellement mais utilisés tout de même au sein des charpentes. Ce traitement curatif fut efficace puisque l'infection par le xylophage fut stoppée nette sur l'ensemble des bois.

La grande majorité des pièces de la charpente (94 %) fut réalisée avec le même type d'arbre en utilisant soit toute la longueur du fût comme pour les chevrons, soit qu'une partie pour les pièces plus courtes. Il s'agit d'arbres jeunes de moins de 60 ans, de faible diamètre (23 cm dans la nef, 28 dans le chœur), pourvus d'un fût fin, rectiligne, au profil très élancé et régulier sur une

grande hauteur (14 m minimum), avec peu de branches et un houppier déployé qu'à la cime. Ils sont aussi caractérisés par un très faible défilement et une forte croissance radiale en début de croissance. Ces arbres, dont le profil dendrométrique est tout à fait exceptionnel au regard des tables officielles actuelles, proviendraient de futaies régénérées selon le régime du taillis, par rejet de souche, suite à des coupes à blanc qui devaient être réalisées dans les limites d'un enclos pour la protection des rejets. Ces peuplements ainsi protégés ne connurent par la suite aucune éclaircie et se développèrent rapidement en maintenant la population des rejets à une très forte densité, au maximum des capacités biologiques du chêne. Ce mode de régénération et cette forte densité du peuplement expliquent ces profils de fût très élancés à moins de 60 ans.

Les deux autres types d'arbres exploités, destinés aux plus fortes pièces (entraits et poinçons), soit 6,5 % seulement des pièces de la charpente, proviendraient de futaies similaires légèrement plus âgées. Quels que soient les bois prélevés, les futaies exploitées pour les charpentes de la nef et du chœur étaient des peuplements purs de chênes sessiles.

Les multiples abattages effectués entre 1230 et 1256 pour la nef concernaient des petites coupes de surfaces dans des peuplements distincts, contrairement aux derniers abattages massifs des années 1254-1257 qui correspondaient à une vaste coupe à blanc d'un peuplement homogène d'une futaie sur souche. En raison de la très forte densité de ces peuplements, la surface forestière sollicitée pour réunir l'ensemble des bois des grandes charpentes n'aurait pas dépassé 3 ha. Seuls les plus gros bois auraient été prélevés isolément par furetage, dans des peuplements au faciès sylvicole différent, comme ceux destinés aux énormes poteaux du beffroi (50-60 cm de diamètre pour plus de 12 m de long) qui furent prélevés dans des peuplements plus ouverts et plus âgés de chênes pédonculés en fond de vallon humide.

Les charpentes du grand vaisseau furent montées très rapidement par une seule et même équipe de charpentiers avec d'abord celle de la nef en 1256, suivie aussitôt après de celle du chœur en 1257.

La charpente de la nef fut mise en œuvre juste après les derniers abattages en automne-hiver 1255-1256 en utilisant tous les bois stockés depuis 26 ans de façon aléatoire dans la structure. Son levage débuta par le pignon occidental et évolua vers l'est jusqu'à la 8^e pile, à la limite du chœur qui était encore couvert de sa toiture provisoire. Le levage se fit en cinq étapes successives, chacune consistant à monter une série d'une vingtaine de fermes, au marquage continu et cohérent, et à déplacer le plancher de travail pour la série suivante. Chaque opération de levage succédait à l'exécution de la série continue de fermes, avec la même équipe de charpentiers. Pour le levage, chaque ferme était réassemblée pièce par pièce sur le plancher de travail d'après leur marquage, puis dressée à la verticale à son emplacement définitif au moyen de cordage. Les éléments du dispositif longitudinal étaient montés progressivement travée après travée.

À l'issue du chantier de la nef, l'équipe de charpentiers fut mobilisée au démontage de la charpente provisoire du chœur, puis à l'exécution et au montage de la charpente du chœur, en 1257, juste après les derniers abattages en automne-hiver 1256-1257. Son levage commença par la croupe absidiale, avec un montage des demi-fermes depuis la ferme de croupe vers la demi-ferme axiale. Le chantier progressa ensuite vers l'ouest, vers la charpente de la nef, en deux

étapes successives correspondant chacune à une série continue de 30 et 25 fermes, selon les mêmes principes de levage que pour la nef.

La structure des charpentes de la nef et du chœur fut globalement la même avec des travées courtes pour limiter les poussées latérales des fermes secondaires sur les murs, un dispositif longitudinal de contreventement identique d'un bout à l'autre du vaisseau et un marquage des bois similaire, témoignant d'une unique maîtrise d'œuvre à l'origine du projet et dans sa mise en œuvre.

On observe toutefois quelques différences entre ces deux charpentes. Dans le chœur, les bois sont de plus forte section que dans la nef. De plus, dans le chœur, les raidisseurs sont faits de deux pièces alors que dans la nef les écharpes comme les faux-entraits sont d'une seule pièce. Ce changement de parti dans la structure des fermes reste encore incompris d'autant plus qu'il n'a pas contribué à améliorer la suspension du poinçon, déjà fortement sollicité par un dispositif longitudinal maladroitement conçu.

La durée du chantier de la charpente de la nef, de l'équarrissage au levage, n'a pas dû excéder dix mois pour une équipe de vingt charpentiers d'après les données expérimentales, de même pour celui du chœur. Ainsi, la charpente de la nef aurait pu être achevée fin 1256, et celle du chœur fin 1257, clôturant en deux années seulement le couvrement définitif du vaisseau principal de la cathédrale. La pose du lattis et des matériaux de couverture devait suivre de près le levage des charpentes pour leur mise hors d'eau progressive. Cette couverture originelle, sur le grand vaisseau, devait être faite avec des grandes tuiles de 35 cm de long, d'après les négatifs de lattis relevés sur des chevrons posés en 1256 et réemployés en 1263². Au XVI^e siècle, il est fait mention sur la grande toiture d'un faitage en plomb avec un décor peint en noir³.

Aussitôt après l'achèvement des toitures du grand vaisseau en 1257, il fut projeté de rajouter à celles-ci une flèche à la naissance du chœur à l'aplomb de la quatrième travée de voûtes, avec probablement un faux-transept constitué de deux toitures transversales à pignon droit. Ce repentir est donc intervenu juste après l'achèvement des charpentes. Ainsi, de nouvelles campagnes d'abattage commencèrent dès le printemps 1259 et se poursuivirent chaque année jusqu'à l'automne-hiver 1262-1263 pour une mise en œuvre très probable de la flèche en 1263. Pour les besoins de son levage, toute la charpente située sur les trois dernières travées orientales de la nef fut démontée afin d'établir un vaste plancher de travail sur lequel la structure de la flèche et, peut-être, du faux-transept put être remontée et levée. Deux arcs diaphragmes à double rouleau furent construits à l'aplomb de la flèche, au droit des 7^e et 8^e piles, pour lui servir d'appui. À l'issue du levage, les fermes limitrophes de la nef furent remontées de l'ouest vers l'est en réemployant les éléments des fermes précédentes complétés de bois verts, selon la structure des fermes du chœur.

Ce n'est qu'après l'achèvement du chantier de la flèche peu après 1263 que les grandes voûtes sexpartites furent vraisemblablement montées, ainsi que les arcs inférieurs des arcs-boutants destinés à reprendre leurs poussées⁴. Peut-être la demande d'emprunt en 1266 de 500 livres tournois, dont 200 affectées à la fabrique, *ad opus ipsius fabricae*⁵, correspond-elle à la construction des voûtes et des arcs-boutants correspondant.



Les tours de la façade occidentale furent érigées en même temps que le vaisseau de la nef. Dans la tour sud, le dernier étage abrite le beffroi d'origine qui se présente comme une tour pyramidale tronquée de 12,5 m de hauteur, de plan carré, dont la partie sommitale pénètre dans la toiture. Il est constitué de réemplois et de bois verts abattus entre l'automne-hiver 1268-1269 et l'automne-hiver 1269-1270, ce qui place sa construction en 1270 ou peu après. Sa mise en œuvre a été faite par les mêmes charpentiers que ceux ayant travaillé aux grandes charpentes du vaisseau d'après les marques d'assemblage. Les cloches étaient fixées aux traverses hautes et se balançaient dans le sens est-ouest. Il fut repris en partie inférieure au XIV^e siècle puis une dernière fois au XV^e.

La chronologie du chantier de la cathédrale de Bourges présente donc un hiatus important entre la mise en service du chœur et la pose des vitraux vers 1214, et la mise en place définitive des charpentes en 1256-1257. Une chronologie similaire s'observe à la cathédrale de Chartres où la mise en service du chevet est attestée en 1221 avec l'installation des chanoines, avec aussi la pose des vitraux des fenêtres hautes sur le chœur vers 1215-1220, et la construction des voûtes et des arcs-boutants 40 ans plus tard, entre 1257 et 1260⁶. L'achèvement tardif du chevet de Chartres fut peut-être lié à la fin de la septième croisade en 1254 et à une prospérité retrouvée qui permit à l'évêché d'achever le chantier de la cathédrale.

On retrouve cette interruption du chantier à la cathédrale d'Amiens avec l'achèvement de la nef vers 1230 et du chœur en 1269 ainsi qu'une pose des charpentes sur le chevet en 1285, sur le transept et la nef en 1300-1305, avec très vraisemblablement une mise en place des voûtes après ces dates⁷.

À Bourges, la situation politique ne fut peut-être donc pas étrangère aux difficultés financières que connut l'évêché pour achever le chantier. Les dates de la septième croisade coïncident justement avec l'arrêt des grandes coupes d'abattage pour la nef. Le retour de Louis IX en France en 1254 après six ans d'absence et donc l'arrêt du financement de la septième croisade correspondent précisément à la reprise des travaux et notamment des campagnes d'approvisionnement en bois d'œuvre pour l'achèvement définitif des toitures.

La reprise d'autres grands chantiers concorde avec le retour de Louis IX en France comme celui de la cathédrale de Beauvais où les bois du chœur furent abattus en 1253-1257, pour une exécution de la charpente l'année suivante, alors que le chantier débuta en 1225.

Quoi qu'il en soit, on ne peut qu'être surpris par la célérité avec laquelle les grandes charpentes du vaisseau principal furent mises en œuvre, vu le gigantisme des structures, alors qu'il fallut près de 25 ans pour réunir tous les bois nécessaires à leur construction. En dépit de certains défauts de conception dans les fermes, on ne peut aussi qu'être étonné par la très grande maîtrise des techniques de charpenterie, que ce soit dans la qualité du façonnage des bois, l'exécution des assemblages, la finesse des sections, l'équilibre des reports de charges ou bien, s'il ne fallait que cela pour s'en convaincre, la parfaite conservation de cet ouvrage long de 100 m alors qu'il culmine depuis presque huit siècles à plus de 40 m de hauteur sur des murs minces face aux souffles violents des tempêtes.

Enfin, ce qui apparaît peut-être comme le plus remarquable est certainement cette parfaite connaissance du matériau ligneux, des arbres et de la forêt qui transparaît à travers la production et l'emploi de bois d'œuvre de très grande qualité. Ils révèlent indirectement une sylviculture maîtrisée sur le temps long par la gestion des régénérations de hautes futaies sur souche, leur probable protection par des enclos et leur coupe à blanc afin de contrôler la densité des peuplements et de produire ainsi massivement à court terme des bois longs et fins parfaitement adaptés aux besoins des chantiers de charpenterie. Cette connaissance du bois s'illustre enfin par l'usage de techniques aujourd'hui disparues qui ne peuvent que nous laisser perplexes comme le stockage sur près de 25 ans de bois dans un parfait état de conservation, le traitement curatif par fumage de plusieurs centaines de grumes ou bien encore les procédés de levage d'une charpente aussi gigantesque à près de 40 m de hauteur avec de simples engins manuels et des cordages.

Puissent ces quelques éclaircissements nous rendre plus humbles, nous faire davantage respecter ces ouvrages pluriséculaires pour mieux les conserver, et surtout nous faire revenir tant que faire se peut à des techniques de charpenterie traditionnelles, manuelles, basées sur une connaissance plus intime du bois, des arbres et des forêts.

NOTES

1 > BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^{os} 56r^o-v^o et 64v^o-65r^o, publié par Martène et Durand 1724, t. VII, col. 1422-1423.

2 > Des fragments de grandes tuiles à crochet, d'une largeur de 21 cm, ont été retrouvés sous les sablières du XIII^e siècle du beffroi de la tour occidentale sud, témoignant d'une toiture en grandes tuiles sur cette tour. Toutefois, A.-T. Girardot mentionne en 1849 la présence de quelques grandes ardoises, de 70 cm de long, 30 cm de large et 3 kg chacune, retrouvées dans les reins des voûtes (Girardot 1849, p. 140).

3 > En 1536, on refait la couverture de la première travée de la nef et « Jean Lécuyer peint de noir à huile le plomb dont est couvert le faitz de l'église » (Girardot 1849, p. 131).

4 > On constate en effet que les voûtes sexpartites viennent ennoyer les deux arcs diaphragmes des 7^e et 8^e piles dans leur maçonnerie, attestant de la mise en œuvre postérieure du voutement.

5 > Cartulaire du chapitre Saint-Étienne, BnF, départements des Manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f^o 81.

6 > Lautier 2011, p. 10.

7 > Hoffsummer et Lambert 2002, p. 122-135.



■ BIBLIOGRAPHIE

ALIX 2013

Alix C., « Les maisons en pan de bois d'Orléans du XIV^e au début du XVII^e siècle », in Alix C. et Épaud F. (dir.), *La construction en pan de bois au Moyen Âge et à la Renaissance*, Rennes/Tours, PUR/PUFR, 2013, p. 221-270.

ASSELINEAU 1995

Asselineau L., « La charpente du grand comble de la cathédrale de Meaux », *Revue d'histoire et d'art de la Brie et du pays de Meaux*, n° 46, 1995.

BONTEMPS 1984

Bontemps D., « La charpente du chœur de l'église de Gonesse (Val-d'Oise) », *Archéologie médiévale*, vol. 14, 1984, p. 127-167.

BONTEMPS 2006

Bontemps J.-D., *Évolution de la productivité des peuplements réguliers et monospécifiques de hêtre (Fagus silvatica L.) et de chêne sessile (Quercus petraea Liebl.) dans la moitié nord de la France au cours du XX^e siècle*, thèse de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Nancy, 2006.

BOUTAULT 1942

Boutault G. *Les domaines du chapitre de Bourges au début du XIII^e siècle*, Paris, Proba, 1942.

BRANNER 1957

Branner R., « Les portails latéraux de Bourges », *Bulletin monumental*, t. 115, 1957, p. 263-270.

BRANNER 1962

Branner R., *La cathédrale de Bourges et sa place dans l'architecture gothique*, Bourges, Tardy, 1962.

BRICHET et DUTERNE 1931

Brichet L. et Duterme J., *Aide-mémoire du forestier*, Gembloux, Duculot, 1931.

BUFFAUT 1913

Buffaut P., « La forêt de Saint-Palais », *Revue des eaux et forêts*, 4^e série, t. 52, 1913, p. 577-592.

BUHOT DE KERSERS 1892

Buhot de Kersers A., *Statistique monumentale du département du Cher*, t. VI, 1892.

BURIDANT 2004

Buridant J., « Du “modèle” à la pratique : la gestion des peuplements », in Corvol-Dessert A. (dir.), *Les forêts d'Occident du Moyen Âge à nos jours*, actes des XXIV^e journées internationales d'histoire de l'abbaye de Flaran (6-8 septembre 2002), Toulouse, Presses universitaires du Mirail, 2004, p. 203-220.

CHARBONNIER et POITRINEAU 2001

Charbonnier P. et Poitrineau A., *Les anciennes mesures locales du Centre-Ouest d'après les tables de conversion*, Clermont-Ferrand, Presses universitaires Blaise-Pascal, 2001.

CHAUDÉ 1946

Chaudé P., *Tarif de cubage à décroissances variables pour les arbres sur pied*, Paris, Sennac, 1946.

CHEVRIER 1995

Chevrier V., *La charpente de la cathédrale Notre-Dame de Paris à travers la dendrochronologie*, mémoire de DEA, Université Paris-Sorbonne, 1995.

CHRISTE et BRUGGER 1996

Christe Y. et Brugger L., « La cathédrale de Bourges et son décor de part et d'autre de la “coupure” Branner », *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, n° 127, 1996, p. 29-34.

CORVOL 1984

Corvol A., *L'homme et l'arbre sous l'Ancien Régime*, Paris, Economica, 1984.

CORVOL 1991

Corvol A., « Exploitation sylvicole et botanique forestière, aux XVII^e-XVIII^e siècles », in Corvol A., *La forêt*, actes du 113^e congrès national des sociétés savantes (Strasbourg, 1988), Paris, CTHS, 1991, p. 295-304.

COUSSEAU 2002

Cousseau G., *Étude d'un peuplement exceptionnel : la Futaie des Clos (Forêt de Bercé, 72)*, mémoire de BTSA Gestion forestière, 2002.

CRMH 2002

CRMH, *Charpentes de la région Centre du XII^e au XIII^e siècle*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2002.

DENDROTECH 1995

Dendrotech, *Rapport d'étude dendrologique*, Cathédrale Saint-Étienne, Bourges, 1995.

DEVAILLY 1973

Devailly G., *Le Berry du x^e siècle au milieu du XIII^e siècle*, Paris, Mouton, 1973.

DEVÈZE 1961

Devèze M., *La vie de la forêt française au XVI^e siècle*, Paris, SEVPEN, 1961.

DHÔTE 1995

Dhôte J.-F., « Définition de scénarios d'éclaircie pour le hêtre et le chêne », *Revue forestière française*, t. 47, 1995, p. 106-110.

DHÔTE J.-F.

Dhôte J.-F., « Effet des éclaircies sur le diamètre dominant dans des futaies régulières de hêtre ou de chêne sessile », *Revue forestière française*, t. 49, 1997, p. 557-578.

DUCEPPE-LAMARRE 2007

Duceppe-Lamarre F., « Les paysages de l'exploitation forestière (France septentrionale, XI^e-XVI^e siècles) », in Woronoff D. (dir.), *Travail et paysages*, 127^e congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Nancy, 15-20 avril 2002), Paris, CTHS, 2007, p. 133-166.

DUCREY 1988

Ducrey M., « Sylviculture des taillis de chêne vert. Pratiques traditionnelles et problématiques des recherches récentes », *Revue forestière française*, t. 40, 1988, p. 302-313.

DUFOUR 1995

Dufour J., « Un acte inédit de Louis VI pour l'abbaye cistercienne de Loroy (1129) », *Bibliothèque de l'École des chartes*, vol. 153, n° 1, 1995, p. 157-160.

ÉPAUD 2007

Épaul F., *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie*, Caen, Publications du CRAHM, 2007.

ÉPAUD 2008

Épaul F., « L'évolution des charpentes d'églises du Val-d'Oise, du XI^e au XX^e siècle », *Revue archéologique du Centre de la France*, t. 47, 2008. URL : <http://racf.revues.org/1205>.

ÉPAUD 2011

Épaul F., « La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges », *Revue archéologique du Centre de la France*, t. 50, 2011. URL : <http://racf.revues.org/1686>.

ÉPAUD 2012

Épaul F., « De la cathédrale romane à la cathédrale gothique : les révélations des charpentes », in M^{gr} J.-C. Descubes (dir.), *Rouen, primatiale de Normandie. La grâce d'une cathédrale*, Strasbourg, La Nuée Bleue, 2012, p. 43-49.

ÉPAUD 2013

Épaul F., « Les charpentes », in Andrault-Schmitt C. (dir.), *La cathédrale Saint-Pierre de Poitiers. Enquêtes croisées*, La Crèche, Geste Éditions, p. 188-208.

ÉPAUD 2017

Épaul F., « La mise en œuvre d'une charpente du XIII^e siècle. Apport de l'archéologie expérimentale », in Baud A. et Charpentier G. (dir.), *Les chantiers et les matériaux de construction de l'Antiquité à la Révolution industrielle en Occident et en Orient*, actes du colloque de Guédelon (23-25 septembre 2015), Lyon, PUL, 2017.

ÉPAUD à paraître

Épaul F., « Les charpentes gothiques face au défi du gigantisme », in *Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre*, actes du 3^e colloque international de Tournai (2 et 3 février 2017), à paraître.

ÉPAUD, BERNARD et LEDIGOL 2008

Épaul F., Bernard V. et Ledigol Y., « Bois de haie, bois de bocage, bois d'architecture », in *Bocages et sociétés*, actes du colloque de Rennes (29 septembre-1^{er} octobre 2004), Rennes, PUR, 2008, p. 213-230.

FERAUGE et MIGNEREY 1996

Ferauge M. et Mignerey P., « L'utilisation du fer dans l'architecture gothique : l'exemple de la cathédrale de Bourges », *Bulletin monumental*, t. 154, 1996, p. 129-148.

FISCHESSER 2009

Fischesser B., *La vie de la forêt*, Paris, La Martinière, 2009.

GAMBLIN, JARRET, LE-GOASTIER, LATHUILLIÈRE et MACAIRE 2010

Gamblin B., Jarret P., Le-Goaster S., Lathuillière L. et Macaire A., *L'enjeu patrimonial de la gestion domaniale de Tronçais : créer un écosystème exemplaire*, synthèse de la conférence par la SAFT du 15 mai 2010. URL : <http://www.onf.fr/enforet/tronçais/approfondir/patrimoine/20120522-092501-408547/1/++files++/2>.

GAUCHERY ET BRANNER 1953

Gauchery R. et Branner R., « La cathédrale de Bourges aux XI^e et XII^e siècles », *Bulletin monumental*, t. 111, 1953, p. 105-123.

GHAZIL 2017

Ghazil S., *Identification et caractérisation anatomique des bois de la charpente de la cathédrale Saint-Étienne de Bourges*, rapport d'analyse, Nantes, EFC Lab, 2017.

GIRARDOT 1849

Girardot A.-T., *La cathédrale de Bourges : description historique et archéologique, avec plan, notes et pièces justificatives*, Moulins, P.-A. Desrosiers, 1849.

GIRARDOT 1853

Girardot A.-T., *Histoire du chapitre de Saint-Étienne de Bourges*, Orléans, A. Jacob, 1853.

GOODBURN 1997

Goodburn D.M., « The production of timber for building in England before and after 1180 AD », in Boe G. de et Verhaeghe F. (dir.), *Medieval Europe Brugge*, IAP Rapporten 7, vol. 10, Zellik, 1997, p. 155-161.

HAMON 1999

Hamon E., *Un chantier de l'époque flamboyante : la reconstruction de la tour nord de la cathédrale de Bourges (1507-1537)*, thèse de l'École des chartes, Paris, 1999.

HAMON 2002

Hamon E., « La cathédrale de Bourges : bâtir un portail sculpté à l'époque flamboyante », *Revue de l'art*, n° 138, 2002-4, p. 19-30.

HOFFSUMMER 1989

Hoffsummer P., *L'évolution des toits à deux versants dans le bassin mosan : l'apport de la dendrochronologie (XI^e-XIX^e siècle)*, thèse de doctorat d'histoire de l'art et d'archéologie, 2 vol., Liège.

HOFFSUMMER 2002

Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2002.

HOFFSUMMER 2011

Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord-Ouest de la France*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2011.

HOFFSUMMER 2016

Hoffsummer P., « Étude de cas, cathédrale de Beauvais (Oise). Histoire de la construction et datations grâce à l'archéologie du bois », *Monumental*, 1 : « Charpentes et couvertures », 2016, p. 40-41.

HOFFSUMMER et LAMBERT 2002

Hoffsummer P. et Lambert G.-N., « Les tirants et les charpentes de la cathédrale Notre-Dame d'Amiens », in Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2002, p. 122-135.

HUFFEL 1904

Hüffel G., *Économie forestière*, t. 1, Paris, L. Laveur, 1904.

HUFFEL 1905

Hüffel G., *Économie forestière*, t. 2, Paris, L. Laveur, 1905.

HUFFEL 1907

Hüffel G., *Économie forestière*, t. 3, Paris, L. Laveur, 1907.

HUGONIOT 1996

Hugoniot J.-Y., « Premier inventaire des marques de la cathédrale de Bourges (Cher) », *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, n° 127, 1996, p. 17-29.

HUNOT 2001

Hunot J.-Y., *L'évolution de la charpente de comble en Anjou, du XII^e au XVIII^e siècle*, Angers, Service archéologique du Maine-et-Loire, 2001.

HUNOT 2011

Hunot J.-H., « L'hôpital Saint-Jean d'Angers : un ensemble de charpentes du XII^e siècle », in Hoffsummer P. (dir.) *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord-Ouest de la France*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2011, p. 279-294.

JACQUET 2003

Jacquet G., *La forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie. L'exemple de l'Indre-et-Loire (X^e-XVI^e siècles)*, thèse de doctorat d'histoire, 3 vol., Tours.

JARRET 1996

Jarret P., « Sylviculture du chêne sessile », *Bulletin technique de l'ONF*, vol. 31, n° 10, 1996, p. 21-28.

JARRET 2004

Jarret P., *Chênaie atlantique*, Paris, ONF, coll. « Guide des sylvicultures », 2004.

JOUBERT 1994

Joubert F., *Le jubé de Bourges*, exposition-dossier du département des Sculptures, Paris, Réunion des musées nationaux, 1994.

JOUSSE 1702

Jousse M., *Le théâtre de l'art du charpentier, enrichi de diverses figures*, édition de 1627 corrigée et augmentée par M. de la Hire, 3^e éd., Paris, Jombert, 1702.

KLEPAC 1981

Klepac D., « Les forêts de chêne en Slavonie », *Revue forestière française*, t. 33, 1981, p. 87-104.

LAUTIER 2011

Lautier C., « Restauration récentes à la cathédrale de Chartres et nouvelles recherches », *Bulletin monumental*, t. 169, 2011, p. 3-11.

LEBOURGEOIS, COUSSEAU ET DUCOS 2003

Lebourgeois F., Cousseau G. et Ducos Y., « Étude d'une chênaie sessiflore exceptionnelle : la futaie des Clos (Sarthe) », *Revue forestière française*, t. 55, 2003, p. 333-346.

LEBOURGEOIS, COUSSEAU ET DUCOS 2004

Lebourgeois F., Cousseau G. et Ducos Y., « Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France) », *Annals of Forest Science*, 61 (4), 2004, p. 361-372.

LEFEVRE 2003

Lefèvre S., « La question des grandes enceintes quadrangulaires du bassin de la Risle : résultats de la campagne de sondages 2002, sur le site des Grands Parquets à Condé-sur-Risle (Eure) », *Haute-Normandie archéologique*, bulletin n° 8, p. 25-31.

LEMAIRE 2010

Lemaire J., *Le chêne autrement. Produire du chêne de qualité en moins de 100 ans en futaie régulière*, Paris, IDF, coll. « Guide technique », 2010.

L'HÉRITIER 2016

L'Héritier M. « Les armatures de fer de la cathédrale de Bourges : nouvelles données, nouvelles lectures », *Bulletin monumental*, t. 174, 2016, p. 447-465.

LUCHAIRE 1885

Luchaire A., *Études sur les actes de Louis VII*, Paris.

MARGUERYE 1889-1890

Marguerye M. de, « Le grand incendie de la cathédrale de Bourges », *Mémoires de la Société des antiquaires du Centre*, t. XVII, 1889-1890, p. 177-228.

MARTÈNE ET DURAND 1724

Dom E. Martène et dom U. Durand, *Veterum scriptorum et monumentorum moralium, historicorum, dogmaticorum, moralium, amplissima collectio*, 8 vol., Paris, 1724.

NOËL 2007

Noël L., *Essai d'interprétation d'un type de vestige en milieu forestier : l'exemple des structures fossoyées en forêt de Bercé (Sarthe)*, mémoire de Master 2 d'archéologie, Université François-Rabelais de Tours, 2007.

NEBOUT 2007

Nebout J.-P., « Le chêne en liberté (2^e partie). Produire du chêne sessile de qualité en moins de 120 ans », *Syva Belgica*, n° 114-3, 2007, p. 37-42.

PANOFSKY 1967

Panofsky E., *Architecture gothique et pensée scolastique*, Paris, Minuit, 1967.

PARDÉ 1978

Pardé J., « Normes de sylviculture pour les forêts de chêne rouvre », *Revue forestière française*, t. 30, 1978, p. 11-17.

PERRAULT 2010

Perrault C., *Rapport d'analyse dendrochronologique. Bourges (18). Cathédrale Saint-Étienne. Charpente de la nef*, Besançon, CEDRE, 2010.

PERRAULT 2014

Perrault C., *Rapport d'analyse dendrochronologique. Bourges (18). Cathédrale Saint-Étienne. Charpente du chœur. TC2*, Besançon, CEDRE, 2014.

PONCELET 1992

Poncelet J., *Estimation et commerce du bois*, Carlsbourg, Saint-Mard, 1992.

PONSOT 2007

Ponsot P., *Cathédrale Saint-Étienne de Bourges (Cher). Couverture de la haute nef. Rapport de présentation*, Orléans, DRAC Centre, 2007.

RACKHAM 1976

Rackham O., *Trees and Woodlands in the British Landscape*, Londres, Phoenix Press, 1976 (rééd. 2002).

RAYNAL 1844

Raynal L., *Histoire du Berry*, II, Bourges, 1844.

RIBAULT 1995 (1)

Ribault J.-Y., *Un chef-d'œuvre gothique, la cathédrale de Bourges*, Paris, Anthèse, 1995.

RIBAULT 1995 (2)

Ribault J.-Y., « Le jubé de Bourges : questions de vocabulaire et de chronologie », *Bulletin monumental*, t. 153, 1995, p. 167-175.

RIBAULT 1996

Ribault J.-Y., « Observations et hypothèses sur la cathédrale romane de Bourges (XI^e-XII^e siècles) », *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, n° 127, 1996, p. 5-17.

ROGER et GAUCHERY 1916

Roger A. et Gauchery P., « La flèche centrale et le faux-transept de la cathédrale de Bourges », *Mémoires de la Société des antiquaires du Centre*, t. XXXVII, 1916, p. 177-199.

ROMELOT 1824

Abbé J.-L. Romelot, *Description historique et monumentale de l'église patriarcale, primatiale et métropolitaine de Bourges*, Bourges, Manceron, 1824.

ROQUELET 1984

Roquelet A., *La vie de la forêt normande à la fin du Moyen Âge. Le coutumier d'Hector de Chartres*, Rouen, Société de l'histoire de Normandie, 1984.

ROTH 1999

Roth C.-E., « Les archevêques de Bourges et le chapitre de la cathédrale Saint-Étienne exploitent leur forêt de Saint-Palais au XVII^e siècle », *Cahier d'archéologie et d'histoire du Berry*, n° 139, 1999, p. 81-88.

VAN DER KELEN ET LESSARD 2004

Van der Kelen G. et Lessard G., *Entre les coupes progressives et le jardinage par trouées : le cas des coupes progressives irrégulières*, Québec, CERFO, 2004. URL : http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=22&no_cache=1&tx_drblob_pi1%5BdownloadUid%5D=159.

VELHAGEN 1996

Velhagen R., « *Vitrae bellorum domini*. Guillaume du Donjon et les vitraux du déambulatoire de la cathédrale de Bourges », *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, hors-série : « En Berry, du Moyen Âge à la Renaissance : pages d'histoire et d'histoire de l'art offertes à Jean-Yves Ribault », 1996, p. 337-332.

VIOLLET-LE-DUC 1854-1868

Viollet-le-Duc E., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, 10 vol., Paris, B. Bance, 1854-1868 (rééd. 1998).



ANNEXE 1

La dérestauration du XXI^e siècle

LA RESTAURATION ENTREPRISE sur les grandes charpentes entre 2010 et 2014 avait suscité une vive réaction suite au remplacement de nombreux bois du XIII^e siècle. La question de la justification de ce chantier avait été aussi soulevée en raison du bon état de conservation des charpentes médiévales qui avaient déjà été restaurées à la fin du XIX^e siècle. Cette polémique a été rendue publique par un article paru en 2015 sur le site internet de la SPPEF¹, auquel avait répondu l'architecte en chef des Monuments historiques responsable des travaux². Pour suivre ce débat technique et déontologique, il est nécessaire de revenir ici sur les arguments avancés par les deux partis dans la mesure où ils se sont exprimés publiquement.

En 2007, avant les travaux, le rapport de présentation déposé par l'architecte en chef soulignait que la charpente était dans un bon état de conservation excepté deux entrants du XVIII^e siècle dans la partie centrale³. Toute la charpente avait en effet été restaurée de 1882 à 1887 (lire la sous-partie « Les travaux du XXI^e siècle » du chapitre I) en consolidant l'ensemble des fermes, relativement fragilisées, par des moises et d'épaisses planches en chêne boulonnées, ce qui avait permis sa conservation dans son intégralité, excepté son contreventement qui dut être remplacé par un dispositif bien plus léger et équilibré et dont les éléments déposés furent réemployés dans les fourrures des chevrons. Lors de ce chantier du XIX^e siècle, toutes les fermes furent reprises, les sablières et blochets rénovées (fig. I-22), les entrants remis en place, les poinçons de nouveau triangulés et consolidés, les chevrons stabilisés et les versants redressés. Les chevrons, très fléchis du fait de leur finesse et de leur ancienneté, étaient désormais consolidés par des moises et les poinçons, pour la plupart brisés en tête, étaient renforcés avec la reprise de la triangulation en tête par d'épaisses planches en chêne qui étaient encore en parfait état de fonctionnement en 2007. Ils permettaient donc

de reprendre les charges de la structure tout en assurant la conservation intégrale de la charpente du XIII^e siècle.

Dès lors, il est légitime de s'interroger sur la nécessité de revenir sur cette restauration réussie du XIX^e siècle, d'autant plus que la suppression des renforts allait fragiliser les bois et la structure et que cela entraînerait de fait le remplacement de très nombreux éléments.

Dans le rapport de présentation de 2007, l'objectif affiché du chantier est de « revenir sur les ajouts et modifications successives qui défigurent [l'état du XIII^e siècle⁴] ». Sur la photo de la charpente prise avant travaux (fig. III-1), il est pourtant difficile de voir en quoi ces rajouts du XIX^e siècle défigurent la structure au point de vouloir les supprimer. À cette question fondamentale sur la justification du chantier, il convient de rappeler qu'en matière de restauration, le retour à l'état d'origine n'est plus d'actualité et qu'aujourd'hui la rénovation privilégie le dernier état connu au détriment de l'unité de style. Rajoutons encore que cette restauration réussie de Boeswillwald permettait de maintenir dans son état originel la charpente du XIII^e siècle, avec notamment les réemplois des éléments du contreventement primitif qui avaient dû être déposés, ce qui conférait à cet ouvrage toute son authenticité historique et archéologique.

Le chantier débuta en 2010. Toutes les moises des chevrons furent supprimées alors qu'elles permettaient d'empêcher leur flexion déjà très prononcée (fig. III-25) et de rectifier la pente pour la couverture d'ardoise. De fait, pour retrouver une pente droite, la flèche des chevrons fut remplie par des fourrures (fig. I-25), c'est-à-dire des bois neufs, doublant ainsi l'épaisseur des chevrons dans le creux de leur incurvation, rajoutant ainsi une surcharge au chevron sur leur longueur. Cependant, aucun renfort n'a été prévu pour les raidisseurs des chevrons, à savoir les grandes écharpes qui étaient déjà fortement fléchies et non conçus pour ce surpoids. En témoignent pourtant de nombreuses fissures relevées au droit des assemblages des écharpes aux entrants retroussés. Cette technique de la fourrure peut se justifier pour des charpentes à pannes où les chevrons sont fortement raidis par des pannes, mais pour une charpente à chevrons-formant-fermes réalisée avec des chevrons fins de 14 m de long, soutenus par des écharpes toutes aussi fines et déjà fortement fléchies, sa mise en œuvre devrait poser question. C'est pourquoi nous regrettons que les moises du XIX^e siècle aient été retirées car ce dispositif était bien plus léger que l'actuel, donc moins préjudiciable pour les raidisseurs, et aussi garantissait la rectification de la pente.

Pour justifier la suppression de ces moises, les responsables du chantier ont avancé comme argument, outre la volonté de revenir à un état originel, qu'elles étaient responsables « d'avoir accentué les pourrissements dus à l'eau, d'où certaines ruptures d'entrants ». Pourtant, lors de nos relevés archéologiques, aucune infiltration n'a été observée en lien avec les moises. Les seuls entrants pourris concernaient deux du XVIII^e siècle dont la dégradation était liée à la médiocre qualité du bois, surdimensionnés, noueux avec beaucoup d'aubier, comme cela est fréquent pour des bois d'époque moderne, et non à des infiltrations. Tous les entrants du XIII^e siècle avaient été restaurés au XIX^e et se trouvaient dans un parfait état de fonctionnement. Aucun argument technique ou sanitaire n'a donc été présenté pour justifier le retrait des moises du XIX^e siècle.

L'autre point du débat porte sur le remplacement de nombreux chevrons de fermes principales du XIII^e siècle. Pour la nef, ces changements représentent un chevron sur cinq alors que ces derniers étaient en bon état de conservation. Il faut bien reconnaître que plusieurs d'entre eux présentaient une tête affaiblie mais ces faiblesses avaient été compensées par les renforts du XIX^e siècle qui avaient consolidés la tête des fermes en recréant la triangulation. Une greffe sur un à deux mètres aurait donc pu suffire à leur préservation plutôt que de les remplacer complètement. L'argument qui sous-tend leur changement s'appuie sur la nécessité de recréer la triangulation au sein de ces fermes principales, ce qui est légitime. Toutefois, comme celle-ci avait été restaurée au XIX^e siècle, il n'était pas utile de défaire ces renforts et de remplacer les chevrons dans leur intégralité.

D'après les responsables de la restauration, ces remplacements étaient d'autant plus justifiés que les poinçons étaient rompus en tête, en raison d'un mauvais report des charges du contreventement du XIX^e siècle sur ces derniers. Ce contreventement est accusé « d'être trop lourd, de ramener tous les efforts vers des fermes principales non dimensionnées qui ont toutes cassées et ont entraîné des poussées importantes sur les maçonneries et les voûtes, d'où des fissurations très spectaculaires ». Les fermes principales ont certes subi d'importantes déformations qui ont entraîné la rupture de nombreux poinçons en tête. Selon nous, ces derniers se sont rompus en raison du contreventement d'origine et non de celui qui l'a remplacé au XIX^e siècle. Celui du XIII^e siècle était en effet trop lourd et maladroitement conçu puisqu'il transmettait aux poinçons les charges des fermes secondaires des travées. Lors de la restauration de 1882, le contreventement fut donc remplacé par un autre plus léger et fonctionnel, indépendant des fermes secondaires, et les fermes principales furent toutes consolidées pour restituer la triangulation et suspendre à nouveau les entrants par les poinçons. La tête de plusieurs poinçons fut cette occasion remplacée par une greffe. Le contreventement du XIX^e siècle n'est donc, selon nous, aucunement responsable *d'avoir brisé les fermes* qui, par ailleurs, furent toutes renforcées pour que les poinçons fonctionnent de nouveau. Pour preuve, aucun poinçon ne s'appuyait sur les entrants et ces derniers étaient tous suspendus par des étriers métalliques avec un vide entre l'entrant et le poinçon. Les fermes étaient ainsi stabilisées avec des poinçons fonctionnant en triangulation. La reprise de la triangulation n'était donc pas justifiée dans la mesure où les moises étaient conservées ou si une greffe du chevron permettait de bien comprimer le poinçon.

Concernant les éventuelles « poussées sur les voûtes », les fissures importantes visibles au contact des murs sont liées selon nous au propre tassement des voûtes en raison de leur grande portée et de leur poids, et non aux poussées des fermes sur les murs. En effet, toutes les sablières et tous les pieds de fermes furent remplacés en 1882, et nos relevés ont démontré que la base de la charpente n'a subi aucune déformation, que ce soit au niveau des sablières ou concernant le positionnement des fermes sur celles-ci.

En résumé, selon notre point de vue, rien ne justifiait le remplacement des chevrons ni la suppression des renforts du XIX^e siècle. Par ailleurs, pour reprendre l'argumentaire des responsables de la restauration, si ces fermes principales étaient réellement surchargées et responsables de ces fissures, pourquoi alors remplacer les chevrons d'origine, très fins et légers, par des bois neufs de plus forte section, surchargés en plus de leur fourrure, donc bien plus lourds, alors qu'il aurait fallu au contraire les alléger ?

À noter aussi que la suppression des chevrons a entraîné celle de nombreuses jambes de force et d'autres pièces secondaires, pourtant en bon état.

Selon nous, il est regrettable que la restauration du XIX^e siècle n'ait pas été maintenue en l'état de façon à pouvoir conserver l'intégrité archéologique de la charpente du XIII^e siècle. Les renforts du XIX^e siècle étaient en bon état de fonctionnement et ne défiguraient en rien la charpente d'origine. Une importante quantité de bois d'origine en bon état de conservation aurait pu être ainsi préservée. Cela nous apparaît d'autant plus regrettable que l'édifice est classé aux Monuments historiques et au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Il existe pourtant des restaurations exemplaires de charpentes médiévales sans aucune dépose des bois d'origine ni suppression des éléments rajoutés, avec des reprises ponctuelles *a minima* et des rajouts de renforts pour conserver tous les bois en place, même ceux en mauvais état. Citons entre autres l'actuelle restauration des charpentes de la cathédrale de Tournai en Belgique où tous les bois anciens, mêmes ceux brisés, rompus et dégradés sont conservés, ou encore celle de l'architecte en chef des Monuments historiques Jean-Louis Taupin notamment sur les grandes charpentes du XIII^e siècle de la cathédrale de Meaux (1992-1993).

Les contre-exemples où les bois d'origine sont remplacés systématiquement par des bois neufs sans aucune considération pour leur valeur patrimoniale sont malheureusement plus nombreux. Sur le chœur de la cathédrale de Poitiers, ce sont 80 % des bois du XIII^e siècle pourtant en bon état qui furent déposés. Les petits édifices médiévaux non protégés ne sont pas moins épargnés comme en témoignent récemment les sauvetages *in extremis* de la charpente médiévale de la maison romane du 12 rue Descartes à Tours, située pourtant en secteur sauvegardé, ou de celle de l'église de Vergigny dans l'Yonne. À l'hôpital de Tonnerre (Yonne), c'est l'intégralité des lambris du XIII^e siècle qui fut remplacée alors qu'il s'agissait des plus anciens lambris connus en France, mentionnés pourtant par Viollet-le-Duc dans son *Encyclopédie médiévale*.

L'une des raisons qui pourrait expliquer ce désintérêt vis-à-vis des bois anciens dans les restaurations de charpentes médiévales réside peut-être dans le fait que les maîtres d'œuvre délèguent de plus en plus les relevés à des cabinets de géomètres-topographes, dont la formation ne les prête pas à une lecture archéologique des charpentes, ainsi que les études techniques et sanitaires à des bureaux d'études et d'ingénierie (BET) dont les compétences s'appliquent surtout à des mises aux normes et à des calculs de résistance aux charges. Le regard porté sur la charpente ancienne n'est plus celui de l'architecte-expert des Monuments historiques mais celui de l'ingénieur qui la considère uniquement comme une structure à adapter à des normes de résistance de plus en plus exigeantes et non plus comme un objet patrimonial et archéologique à préserver.

Pour éviter de tels écueils, il pourrait être utile que la maîtrise d'œuvre puisse disposer en amont d'une étude scientifique de la charpente qui lui permettrait de juger avec pertinence de la valeur archéologique de la structure ainsi que de son état sanitaire, et donc de définir les besoins réels pour arrêter un protocole de travaux adapté. Il s'agirait de mettre en place au préalable du chantier de véritables études archéologiques de la charpente, dont l'objectif serait de produire des relevés précis et détaillés, et une analyse du phasage des structures, des reprises, des assemblages, du marquage, du débit des bois et de tout ce qui fait la spécificité de la charpente et de ses matériaux. L'étude inclurait les analyses dendrochronologiques pour la

datation des structures en complément des relevés. La prescription pourrait être faite par les CRMH en concertation avec les SRA. Si ces études représentent un coût supplémentaire pour le chantier, elles permettraient néanmoins de faire l'économie des relevés des géomètres-topographes qui ne renseignent pas l'architecte sur le potentiel archéologique des structures, ce qui semble indispensable dans le cadre d'une restauration.

Quelques exemples récents ont montré la pertinence de telles études, comme celle prescrite par la CRMH et le SRA en amont de la restauration des toitures du déambulatoire de la cathédrale de Lisieux dans le Calvados. Elle a permis de définir la localisation des tuiles médiévales, le phasage des charpentes et l'emplacement des bois réemployés sur des relevés archéologiques précis, validés par des datations dendrochronologiques. Elle a contribué aussi à préciser le diagnostic sanitaire et à mieux cibler les interventions. L'étude archéologique de l'âtre Saint-Maclou de Rouen, prescrite par la CRMH de Normandie, comme celles des charpentes du XIII^e siècle de l'abbaye de la Clarté-Dieu et de l'église de Bourgueil en Indre-et-Loire, prescrites par la CRMH du Centre-Val de Loire, réalisées aussi en amont du chantier de restauration, ont permis de mettre en évidence toute la richesse et la complexité architecturale de ces ouvrages. Ces études préalables peuvent garantir à terme une meilleure préservation des bois anciens.

Il est en effet assez fréquent qu'une charpente du XIII^e siècle soit restaurée comme peut l'être une charpente du XIX^e. « Un bois est un bois », comme disent certains professionnels de la restauration, quelle que soit son ancienneté. Les méthodes appliquées à leur restauration sont les mêmes et l'état sanitaire prime sur l'intérêt patrimonial. Pourtant, les bois peuvent nous apprendre beaucoup sur l'histoire du monument, le chantier de construction, l'évolution des techniques et aussi sur la sylviculture médiévale. Par ses assemblages, un bois conserve tous les témoignages de ses différents usages, de son utilisation première comme de ses réutilisations. Il rend possible la restitution totale ou partielle de la charpente originelle après son réemploi, ce que ne permet aucune pierre. Les remaniements d'un édifice peuvent ainsi être renseignés et même datés à l'année près. Les négatifs de lattis sur les chevrons autorisent la restitution des matériaux de couverture d'origine. Les traces de taille, les tracés des assemblages, les marquages conservés en surface des bois renseignent sur les techniques de charpenterie comme sur les outils utilisés, et ce pour des périodes mal documentées par les textes et l'iconographie. La matière même du bois, à travers l'analyse des cernes de croissance, est une source d'information exceptionnelle pour la datation à l'année près de la mise en œuvre des charpentes, et donc de l'achèvement et des reprises d'un édifice. L'étude des cernes, couplée à une analyse dendrométrique (mesure des sections, des nœuds, des aubiers...), permet de connaître les conditions de croissance de l'arbre et de restituer le type de forêt dans lequel il a été prélevé. C'est une source d'information précieuse pour la connaissance des forêts et la sylviculture médiévale, alors que les sources historiques restent muettes sur ce sujet.

C'est pourquoi il est nécessaire tant que faire se peut de préserver les bois anciens lors d'une restauration pour la connaissance du monument comme pour de nombreux autres champs de recherche, et bien entendu aussi pour conserver l'authenticité patrimoniale de l'édifice.



NOTES

- 1 › <http://www.sppef.fr/2015/12/09/la-de-restauration-de-la-charpente-du-xiiiie-siecle-de-la-cathedrale-de-bourges/>.
- 2 › http://www.sppef.fr/wp-content/uploads/2015/12/sppef_bourges-texte--ill-15-12-2015.pdf.
- 3 › Ponsot 2007.
- 4 › *Ibid.*



ANNEXE 2

Analyses dendrochronologiques des bois de la nef et du chœur

BI : bois initial (abattage au printemps).

BF : bois final (abattage en automne-hiver).

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
3	Poinçon	5	36		59	proche	14	1243 BF
5B	Entrait	8	51		90	-1/-2	20	non daté
6	Entrait	9	56		82	-2/-3	12	1237 BF
8	Poinçon	3	26		45	-10	9	1255 BI
9	Écharpe	6	43	sud	84	oui	26	1232 BF
11	Entrait retroussé	6	42		55	-1/-2	12	1243 BF
12C	Chevron	1	18	nord	103	proche	20	peu après 1239
14	Chevron	1	19	sud	78	?	18	1240 BF
15	Entrait	10	62		104	?	19	1261
18	Chevron sud	10	63	sud	57	proche	7	1260 BF
20	Entrait	10	67		50	proche	11	1259 BI
28	Poinçon		122		43	-1/-2	15	1256 BF
51	CV? (44S M4)	bois déposé			37	oui	8	après 1252
52	CV? (45S?)	bois déposé			41	oui	17	1254 BF (2)
53	CV? (41M 3S)	bois déposé			50	oui	15	1254 BF
54	CV? (32?)	bois déposé			36	-10	3	après 1239
55	CV? (40S M5)	bois déposé			31	oui	10	1254 BI (3)
56	Sablière (49M 3S)	bois déposé			72		non	
57	Lierne (21S 1M)	bois déposé			72		15	
58	CV? (25N 1M)	bois déposé			48	oui	7	vers 1253-1255

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
59	CV? (43S M2)	bois déposé			26	oui	8	1255 BI
60	CV? (43S M1)	bois déposé			26	proche	8	peu après 1254
61	CV? (49 2M)	bois déposé			41	proche	0	après 1235
62	CV? (45M 3S)	bois déposé			44	oui	13	peu après 1250
63	CV? (40S M2)	bois déposé			39	-5/-10	0	après 1236
64	CV? (41S M2)	bois déposé			63	proche	15	1254 BF
65	CV? (26N 3M)	bois déposé			78	-5	18	
66	CV? (26N)	bois déposé			80	-10	17	
67	CV? (43S 3M)	bois déposé			31	oui	10	1254 BF?
68	CV? (42S 2M)	bois déposé			36	-5/-10	13	1254 BF
69	CV? (39S 1M)	bois déposé			36	oui	13	1254 BI
101	Entrait	1	16		43	-1/-2	14	proposition 1765 BF
102	Jambette	1	18	nord	108	proche	23	1243 BF
103	Jambette	1	19	nord	46	oui	10	1243 BF
104	Poinçon	1	16		43	oui	13	1242 BF
105	Écharpe	1	20	nord	59	-1/-2	12	1243 BF
106	Entrait retroussé	1	17		59	oui	15	1243 BF
107	Poinçon	2	21		88	oui	15	1238 BF
108	Contrefiche	2	21	sud	101	proche	13	1242 BF
109	Entrait retroussé	2	24		53	-1/-2	8	1236 BF
110	Écharpe	2	23	nord	58	-1	13	1243 BF
111	Entrait retroussé	2	23		77	-1/-2	16	1240 BF
112	Linteau ?	2	20/23		55		0	après 1309
113	Chevron	2	22	sud	126	proche	21	1334 ?
114	Chevron	2	25	sud	44	-3/-5	6	1242 BF
115	Entrait	3	26		87	-1	Lim. aub.	après 1217
116	Chevron	3	30	sud	110	-1	16	peu après 1240
117	Chevron	3	26	sud	56	proche	12	1253 (+ 1?) = 1254 BI ?
118	Aisselier	3	26	sud	49	-1	18	1254 BF
119	Entrait retroussé	3	27		64	-2	21	1243 BF
120	Entrait retroussé	3	29		45 + 17	oui	17	1224 + ? + 17 BF = 1243 ?

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
121	Entrait retroussé	3	28		23 + 9	proche	9 (0 mes.)	non daté
122	Poinçon	4	31		46	-1/-2	15	1254 BF
123	Entrait retroussé	4	31		35	oui	11	1255 BI
124	Aisselier	4	31	sud	39	-1	12	1243 BF
125	Écharpe	4	32	nord	83	oui	25	1239 BF
126	Entrait retroussé	4	33		59	-5	19	1242 BF
127	Entrait retroussé	4	34		46	-1	15	1225 + 15 (1240)
128	Écharpe	4	35	nord	61	-1/-2	11	1240 BF
129	Chevron	4	31	nord	57	-1/-2	12	1254 BF
130	Chevron	5	38	nord	101	oui	12	1237 BF
131	Écharpe	5	37	sud	44	-5	11	1240 BF ?
132	Contrefiche	5	36	nord	30	-1/-2	11	1243 BI
133	Écharpe	5	40	sud	64	proche	21	1239 BF
134	Entrait retroussé	5	39		57	-1/-2	14	1243 BF
135	Entrait retroussé	5	36		59	-2/-3	16	1243 BF
136	Poinçon	6	41		50	-1/-2	14	1254 BF
137	Écharpe	6	44	nord	83	-1	23	1240 BF
138	Chevron	6	41	nord	63	oui	15	1253 BF
139	Chevron	6	45	sud	77	proche	24	1240 BF
140	Poinçon	7	46		45	-1/-2	14	1254 BF
141	Entrait retroussé	7	46		34	oui	12	1230 ou 1236 BF
142	Entrait retroussé	7	47		47	proche	8 (+ 4)	1238 + 4 = 1242 BF
143	Chevron	7	47	nord	91	proche	19	1240 BF
144	Chevron	7	48	nord	90	?	15	peu après 1241
145	Entrait retroussé	7	48		42	-3/-5	non	1240 BF
146	Entrait retroussé	7	50		50	oui	16	1243 BF ?
147	Chevron	7	49	nord	78	oui	0 (12 au -)	1221 + (12 c. min) BF
148	Entrait	7	46		76	-1	11	après 1224
149	Chevron	8	51	nord	61	-2/-3	21	1255 BF
150	Chevron	8	52	nord	79	proche	7 (+ 15 c. au moins)	1223 (+ 15)
151	Poinçon	8	51		62	-3/-5	21	1244 BI
152	Écharpe	7	49	nord	70	-1	22	1230 BF
153	Écharpe	8	53	sud	82	-1	23	1238 BF
154	Écharpe	8	54	nord	90	-1	27	1239 BF
155	Écharpe	8	55	nord	50	oui	15	peu après 1252
156	Poinçon	9	56		37	-1/-2	12	1253 BF

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
157	Chevron	9	57	nord	45	?	13	1261 BF
158	Chevron	9	61	nord	32	-1/-2	13	non daté
159	Écharpe	9	58	nord	57	oui	19	1243 BF
160	Chevron	9	59	sud	56	proche	15	1259 (cb ?)
161	Poinçon	10	62		56	-1/-2	15	1262 BF ?
162	Écharpe	10	64	sud	92	oui	16	1238 BF
163	Écharpe	10	65	nord	39	-1/-2	16	non daté
164	Écharpe	10	66	nord	41	proche	14	1243 BI
165	Écharpe	10	66	sud	92	-1/-2	16	1242 BF
166	Chevron	10	63	nord	43	-1	17	1261 BF
167 = 204	Chevron	10	65	nord	49	-1	10	1262 BF
168	Chevron	10	67	nord	21		9	1260 BF
169	Poinçon	10	67		55	-1/-2	15	1262 BI
201	Chevron	9	58	nord	51	-1/-2	17	1262 BF
202	Chevron	9	59	nord	53	oui	19	1260 BF
203	Chevron	9	60	nord	49	-3/-5	15	1262 BF
205	Chevron	9	60	sud	54	-1/-2	16	1259 BF
206	Chevron	9	57	sud	60	-1/-3	15	1259
207	Chevron	10	64	sud	62	oui	16	peu après 1260
208	Chevron	10	65	sud	52	oui	9	peu après 1260
209	Entrait retroussé inf.	10	66		55	-1/-2	14	1262 BF
210	Entrait retroussé inf.	10	67	nord	55	-1/-2	15	1262 BF
211	Aisselier	10	63	nord	61	-1/-2	16	1255 BF
212	Entrait retroussé	9	59		39	-1	12	1254 BI
213	Aisselier	9	57	sud	58	-1	11	1242 BF
214	Écharpe	9	60	nord	58	oui	20	1253 BF
215	Écharpe	9	57	nord	44	-2/-3	14	1243 BF
216	Contrefiche	10	67	sud	36	-1/-2	11	1254 BF
217	Entrait		107		79	-2/-3	27	1256 BF
218	Entrait		112		78	-2/-3	20	1256 BF
219	Entrait		117		107	-1	16	peu après 1254
220	Entrait		122		41	-1/-2	13	1256 BF
221	Chevron		124	sud	46	-1/-2	10	1256 BF
222	Chevron		123	sud	75	oui	18	peu après 1255
223	Chevron		118	sud	53	-1	15	1256 BF
224	Chevron		109	sud	51	-1	15	1256 BF
225	Chevron		125	nord	62	-2/-3	18	1256 BF
226	Chevron		120	nord	62	-1/-2	13	1256 BF
227	Chevron		119	nord	61	-1/-2	13	1256 BF
228	Chevron		117	nord	41	-3/-5	10	1256 BF
229	Chevron		115	nord	59	oui	12	1256 BF
231	Poinçon		117		65	oui	12	1256 BF
232	Poinçon		107		51	oui	14	1256 BF

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
233	Entrait retroussé inf.		109		50	-1	11	1256 BF
234	Aisselier		110	sud	57	oui	11	1256 BF
235	Entrait retroussé inf.		110		48	oui	13	1256 BF
236	Entrait retroussé inf.		111		61	-2/-3	18	1256 BF
237	Entrait retroussé inf.		113		51	oui	13	peu après 1255
238	Aisselier		114	nord	41	-1/-2	13	1256 BF
239	Aisselier		115	sud	33	-1/-2	15	1256 BF
240	Entrait retroussé inf.		116		62	oui	11	1256 BF
241	Aisselier		116	sud	56	-1	13	peu après 1255
242	Entrait retroussé inf.		118		59	oui	20	1256 BF
243	Aisselier		119	nord	27	-2/-3		non daté
244	Aisselier		124	nord	59	oui	17	1256 BF
245	Entrait retroussé		123		62	-1/-2	20	1256 BF
246	Écharpe		121	sud	50	-2/-3	16	1256 BF
247	Écharpe		113	sud	48	> 5	12	1256 BF
248	Écharpe		109	sud	43	oui	16	1256 BF
249	Écharpe		113	nord	23	-1/-2	9	non daté
250	Écharpe		119	nord	48	-1/-2	19	1256 BF
251	Écharpe		124	sud	50	-1	21	1256 BF
252 (A)	Contrefiche		67		99	oui	16	peu après 1232
253 (B)	Jambette		62		73	oui	8	1230 BF
254 (C)	Non localisé				118	oui	21	1239 BF
255 (D)	Chevron (déposé)		56	nord	86	oui	32	1237 BF
256	Chevron (déposé)		112	nord	59	oui	16	1256 BF
257	Jambette (déposée)		67	sud	109	oui	18	1239 BF
258	Jambette (déposée)		112	nord	45	oui	14	peu après 1255
259	Chevron (déposé)		107	sud	72	oui	12	1256 BF
301	Chevron		126	nord	58	-1/-2 c	10	1255 BF
302	Poinçon		127		41	4-5 cm	13	1256 BF
303	Entrait déposé		127		100	oui	24	après 1254
304	Chevron		128	nord	29	-1 c	8	1246 BF?
305	Chevron		129	sud	60	oui	16	1256 BF
306	Chevron		130	sud	54	-2 cm	15	1256 BF
307	Chevron		131	sud	47	-1 c	12	1256 BF
308	Entrait		132		73	oui	19	1256 BF
309	Poinçon		132		31	?	19	1256 BF

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
310	Entrait retroussé inf.		128		48	-1 cm	15	1256 BF
311	Entrait retroussé inf.		129		69	oui	15	1255 + 1
312	Entrait retroussé inf.		130		36	-1 c	12	après 1254
313	Entrait retroussé inf.		131		46	-1 c	14	1256 BF
314	Entrait retroussé inf.		135		46	-1 c	14	1256 BF
315	Chevron		136	nord	37	oui	8	1256 BF
316	Chevron		137	sud	61	oui	19	1255 + 1
317	Chevron		141	nord	47	oui	20	1256 BF
318	Chevron		133	nord	62	?	13	1256 BF
319	Chevron		134	nord	79	oui	16	1256 BF
320	Chevron		135	nord	66	-1/-2 c	13	1256 BF
321	Chevron		136	nord	49	-1 c	13	1255 + 1
322	Chevron		137	nord	41	-1 c	0	après 1237
323	Entrait		137		100	-1 c	7	après 1248
324	Chevron		138	nord	64	oui	14	1256 BF
325	Chevron		139	sud	42	-1 c	15	1256 BF
326	Chevron		140	sud	63	-1 c	16	1256 BF
327	Chevron		142	sud	58	-1/-2	13	1256 BF
328	Entrait		142		117	-2/-3	23	après 1252
329	Chevron		143	sud	51	-1 c	12	1256 BF
330	Chevron		144	sud	64	oui	18	1256 BF
331	Chevron		145	nord	46	-1 c	8	1256 BF
332	Chevron		146	nord	42	-2 cm	19	1256 BF
333	Chevron		147	nord	52	oui	13	1256 BF
334	Entrait		147		101	-1 c	17	1256 BF
335	Poinçon		142		50	oui	14	1256 BF
336	Entrait retroussé inf.		140		53	-1 c	16	1256 BF
337	Entrait retroussé inf.		141		54	-1 c	19	1256 BF
338	Poinçon		147		58	-1 c	15	1256 BF
339	Chevron		148	nord	63	-1 c	17	1255 + 1
340	Chevron		149	nord	58	-1 c	16	1256 BF
341	Chevron		150	nord	49	-1 c	15	1256 BF
342	Chevron		151	nord	54	oui	10	1256 BF
343	Chevron		152	nord	32	-1 c	14	1256 BF
344	Chevron		152	nord	59	-1 c	20	1256 BF
345	Chevron		153	nord	58	oui	12	1256 BF
346	Jambette		153	nord	46	-1 c	15	1256 BF
347	Chevron		154	nord	59	oui	18	1256 BF
348	Jambette		154	nord	47	-1 c	11	1256 BF
349	Chevron		155	nord	59	?	14	1256 BF

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
350	Jambette		155	nord	60	-1 c	16	1256 BF
351	Chevron		156	nord	48	-1 c	14	1256 BF
352	Jambette		156	nord	28	-1 c	5	après 1247
353	Chevron		157	nord	54	-2 c	16	1256 BF
354	Jambette		157	nord	46	oui	15	1256 BF
355	Entrait		152		143	-1 c	20	1255
356	Entrait		157		104	-1 c	16	1255 + 1
357	Chevron		152	sud	58	-1/-2 c	12	1256 BF
358	Jambette		152	sud	57	-2/-3 c	19	après 1254
359	Jambette		153	sud	57	oui	17	1256 BF
360	Chevron		153	sud	45	-1 c	11	1256 BF
361	Chevron		154	sud	54	-2 c	15	1256 BF
362	Jambette		154	sud	47	-1 c	11	1256 BF
363	Chevron		155	sud	54	-1 c	18	1256 BF
364	Jambette		155	sud	50	1 cm	14	1255 + 1
365	Chevron		156	sud	62	oui	14	1256 BF
366	Jambette sud		156	sud	42	-1 c	13	1256 BF
367	Jambette		157	sud	45	-2 c	14	1256 BF
368	Chevron		157	sud	46	-1 c	13	1256 BF
369	Poinçon		157		44	-1 c	16	1256 BF
370	Poinçon		152		43	-1 c	17	1256 BF
371	Aisselier		152	nord	63	oui	16	1255 + 1 ?
372	Entrait retroussé inf.		152	nord	53	-1 c	14	1256 BF
373	Entrait retroussé inf.		152	sud	64	-1 c	14	1256 BF
374	Aisselier		152	sud	46	-1 c	11	1256 BF
375	Aisselier		153	sud	58	-1/-2 c	16	1256 BF
376	Entrait retroussé inf.		153		52	-1 c	14	1256 BF
377	Aisselier		153	nord	48	-1 c	24	1256 BF
378	Aisselier		154	nord	45	-2 c	18	1256 BF
379	Entrait retroussé inf.		154		60	oui	16	1256 BF
380	Aisselier		154	sud	39	-2 c	15	1256 BF
381	Aisselier		155	sud	61	-1/-2 c	15	1256 BF
382	Entrait retroussé inf.		155		44	-2/-3 c	10	1256 BF
383	Aisselier		155	nord	57	-1 c	17	1256 BF
384	Aisselier		156	nord	31	-1 c	12	1256 BF
385	Entrait retroussé inf.		156		37	-2 c	14	1256 BF
386	Aisselier		156	sud	48	oui	18	1256 BF
387	Entrait retroussé inf.		157	sud	60	oui	19	1255 + 1
388	Entrait retroussé inf.		157	nord	60	-1 c	20	1256 BF

N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
389	Aisselier		157	nord	45	?	16	1256 BF
390	Contrefiche		152	nord	46	-1 c	19	1256 BF
391	Contrefiche		152	sud	27	oui	11	1256 BF
392	Écharpe		153	nord	44	-1 c	19	1255 + 1
393	Écharpe		153	sud	56	-1 c	19	1255 + 1
394	Écharpe		154	sud	43	oui	10	après 1254
395	Écharpe		154	nord	42	oui	13	1256 BF
396	Écharpe		155	sud	51	-1 c	16	1256 BF
397	Écharpe		155	nord	46	-2 c	16	1256 BF
398	Écharpe		156	sud	25	-1 c	10	1256 BF
399	Écharpe		156	nord	40	oui	14	1256 BF
400	Contrefiche		157	nord	34	-1/-2 c	12	1256 BF
401	Contrefiche		157	sud	39	-1 c	19	1256 BF
402	Entrait retroussé sup.		156		46	-1 c	11	1256 BF
403	Entrait retroussé sup.		155		41	-1 c	24	1256 BF
404	Entrait retroussé sup.		154		38	oui	15	1256 BF
405	Entrait retroussé sup.		153		57	oui	19	après 1251
406	Entrait retroussé sup.		152	sud	37	-2 c	14	1256 BF
407	Entrait retroussé sup.		152	nord	40	-2 c	13	1256 BF
408	Chevron		132	nord	62	oui	7	1256 BF
409	Chevron		127	nord	60	oui	13	1256 BF
410	Entrait retroussé inf.		159		58	-2 c	18	1256 BF
411	Entrait retroussé inf.		160		49	-2/-5	15	1256 BF
412	Chevron		158	sud	51	-1 c	15	1256 BF
413	Chevron		159	sud	53	oui	12	1256 BF
414	Chevron		160	sud	48	-1 c	20	1256 BF
415	Chevron		161	sud	61	-1 c	18	1256 BF
416	Chevron		3S	abside	41	-2 c	4	après 1245
417	Chevron		4	abside	58	-1 c	18	1255 BF
418	Chevron		5	abside	52	?	3	après 1247
419	Chevron		6	abside	49	-1 c	15	1253 BI
420	Chevron 1/2 ferme principale		8	abside	49	-1 c	11	1256 BF
421	Chevron		9	abside	66	oui	13	1256 BF
422	Chevron		12	abside	66	oui	9	1255 + 1
423	Chevron		17	abside	42	-2 c	11	1256 BF
424	Chevron		20	abside	48	-1 c	16	1256 BF
425	Chevron		22	abside	61	-2 c	20	1256 BF
426	Chevron		24	abside	65	-2 c	12	1256 BF



N°	Nature	Travée	Ferme	Versant	Cernes	Moelle	Aubier	Date d'abattage
427	Chevron		26	abside	53	oui	15	1256 BF
428	Chevron		27	abside	57	-1 c	18	1256 BF
429	Chevron		28	abside	52	-1 c	13	1255 + 1
430	Chevron		29	abside	56	-2 c	19	après 1254
431	Chevron		30	abside	51	-1 c	14	1256 BF
432	Chevron		31	abside	38	-1 c	11	1256 BF
433	Entrait ferme de croupe			abside	112	-1 c	16	1255 + 1
434	Entrait demi-ferme		24	abside	55	-1 c	10	après 1251



ANNEXE 3

Analyses dendrochronologiques des bois du beffroi de la tour sud

N°	H	Essence	Moëlle	Cernes	Aubier	Cambium	Chronologie	Abattage	Classe	Age	A(p-t)	H(p-t)	A/H
1	11 m	Chêne	-1	85	15	oui	1184-1268	1268-1269		86			
1B	1,50 m	Chêne	-1	72	0	non	1139-1210			131	45	9,5	4,74
2	11,50 m	Chêne	-2	107	18	non	1155-1261	(1262-1283)		117			
2B	0,30 m	Chêne	-1	113	0	non	1128-1240			143	26	11,2	2,32
3	10 m	Chêne	-1/-2	87	13	non	1170-1256	(1257-1283)		92			
4	0,20 m	Chêne	-1	91	20	oui	1179-1269	1269-1270		114	22	9,8	2,24
4B		Chêne	-2	70	0	non	1158-1227						
5	11 m	Chêne	-1	85	16	non	1190-1256	(1257-1280)					
6	2,40 m	Chêne	-2	84	0	non	1184-1268	1268-1269		113			
7	8 m	Chêne	mortuaire	96	0	non	1159-1242			>137	>24	8,6	>2,79
7B	0,80 m	Chêne	oui	128	16	non	1126-1253	(1254-1277)			13	7,2	1,81
8		Chêne	?	89	21	oui	1115-1203	1269-1270					
8B		Chêne	?	39	13	oui	1231-1269	1269-1270					
9		Chêne	Noeud	69	26	oui	1201-1269	1269-1270					
10		Chêne	-1/-2	80	7	non	non daté						
11		Chêne	Env. -10	193	5	non	1040-1232	(1233-1267) bois de la nef ?					
12		Chêne	-2	98	21	oui	1172-1269	1269-1270					
13		Chêne	-1	75	0	non	1170-1244			101			
14	11,50 m	Chêne	?	65	10	non	1195-1259	(1260-1289)		>75			
14B	0,50 m	Chêne	?	48	14	oui	1212-1259	1259-1260					
15		Chêne	-1	50	14	oui	1211-1260	1260-1261					
16		Chêne	-1	45	14	non	1210-1254	(1255-1280)					
17		Chêne	Env. -10	56	13	non	1208-1263	(1264-1290)					
18		Chêne	-1	96	26	oui	1174-1269	1269 BI					
19		Chêne	-1	43	3	non	1213-1255	(1256-1292)					
20		Chêne	-1	84	9	non	1172-1255	(1256-1286)					
21		Chêne	-2	68	12	non	1247-1314	(1315-1342)					
22		Chêne	-1	128	9	non	1279-1406	(1407-1437)					
23		Chêne	-1	23	0	non	non daté						
24		Chêne	?	89	20	oui	1180-1268	1268-1269					
25		Chêne	?	50	8	non	1203-1252	(1253-1284)					
26		Chêne	-2	50	20	?	1180-1229	1229-1230 ?	C				
27		Chêne	-1/-3	69	16	non	1187-1255	(1256-1279)					
28		Chêne	-1/-3	89	limite	non	1220-1302	(1304-1342)					
29		Chêne	-1/-3	69	0	non	1363-1431						
30		Chêne	?	50	0	non	1163-1212						
31		Chêne	-1/-2	50	6	non	1150-1199	(1200-1234)	C				
32		Chêne	-1	50	6	non							

Légende :

- 1 : Hauteur du prélèvement dans le bois (pour les poteaux, en mètres).
- 2 : Nombre de cernes estimé du coeur au premier cerne de bois de coeur mesuré.
- 3 : Nombre total de cernes mesurés.
- 4 : Nombre de cernes d'aubier mesurés, inclus dans (3).
- 5 : Présence ou absence du cambium (couche de cellules se divisant pour former le bois et le liber). Sa présence est synonyme de datation à l'année près.
- 6 : Année de formation du premier et du dernier cerne de la série de croissance.
- 7 : Abattage de l'arbre (quand l'aubier est complet).
1268-1269 = automne-hiver 1268-1269, 1269 BI = printemps 1269,
() estimation à partir du nombre de cernes d'aubier observés.
- 8 : Classe de datation (C : proposition associée à un risque d'erreur non négligeable).
- 9 : Age = 3 + 2 + nombre de cernes estimé, du dernier cerne mesuré à celui formé avant la coupe.
- 10 : Différence d'âge entre le pied et l'échantillon en tête du poteau.
- 11 : Différence de hauteur entre les échantillons de tête et de pied de poteau (en mètres).
- 12 : A / H = nombre de cernes par mètres, soit le rythme de croissance en hauteur, en supposant qu'il soit régulier.





GLOSSAIRE

About : n. m. Extrémité d'une pièce.

Aisselier : n. m. Élément droit ou courbe placé sous une pièce horizontale (entrait retroussé ou faux-entrait).

Arasement : n. m. Face perpendiculaire à l'axe d'un tenon et parallèle à la face du bois mortaisé.

Arbalétrier : n. m. Pièce parallèle au rampant de la toiture qui supporte les pannes.

Arêtier : n. m. Pièce d'une croupe placée à la rencontre saillante de deux versants d'une toiture.

Aubier : n. m. Partie tendre et superficielle du bois située entre l'écorce et le cœur de l'arbre.

Bâtard : adj. Se dit d'un tenon lorsque celui-ci ne comporte qu'un seul arasement.

Beffroi : n. m. Structure qui soutient les cloches.

Blochet : n. m. Petite pièce horizontale, généralement posée ou assemblée sur des sablières, destinée à recevoir le pied d'un chevron et d'une jambe de force.

Bossage : n. m. Sur-épaisseur d'un bois.

Chanfrein : n. m. Arête aplanie d'une pièce équarrie.

Chant : n. m. Côté le plus étroit d'une pièce de section rectangulaire. Poser une pièce de chant : la faire reposer sur sa plus petite face.

Chéneau : n. m. Conduit placé à la base des combles et destiné à recueillir les eaux de pluie.

Chevron : n. m. Pièce de bois qui supporte le lattis et les matériaux de la couverture.

Chevron-formant-ferme : n. m. Type de charpente dans laquelle chaque chevron est assemblé à des pièces de raidissement pour constituer une ferme. S'oppose au type de la ferme et panne où les chevrons sont indépendants, portés par des pannes, et ne constituent pas une série de fermes successives.

Cognée : n. f. Hache au tranchant étroit destinée à l'abattage des arbres.

Console : n. f. Structure de soutien.

Contrefiche : n. f. Pièce de bois inclinée qui travaille contre la flexion d'une autre pièce qu'elle soutient.

Contreventement : n. m. Dispositif de pièces destiné à lutter contre le déversement de la charpente.

Contreventer : v. t. Empêcher le déversement d'une structure.

Cours : n. m. Alignement continu de pièces de bois assemblées bout à bout.

Coyau : n. m. Petite pièce de bois inclinée placée en partie inférieure d'un chevron, à l'extérieur du comble, pour adoucir la pente de la base de la toiture.

Coyer : n. m. Pièce horizontale d'une croupe destinée à recevoir le pied d'un arêtier ou d'une noue.

Croupe : n. f. Extrémité charpentée d'un comble.

Décharge : n. f. Pièce de bois destinée à s'opposer à la déformation d'une autre et à reprendre les charges de cette dernière.

Débardage : n. m. Transport des grumes depuis le lieu d'abattage.

Débiter : v. t. Couper, fendre ou scier au cœur un bois.

Dégauchir : v. t. Retirer les défauts d'un bois.

Délarder : v. t. Retirer le surplus d'une surface ou les défauts d'un bois.

Dévers : n. m. Inclinaison des faces d'une pièce de bois.

Doloire : n. f. Hache à large tranchant destiné à l'équarrissage des bois.

Échantignole : n. f. Cale de bois fixée sur l'arbalétrier et destinée à bloquer les pannes.

Écharpe : n. f. Longue pièce de bois inclinée, généralement couplée à une seconde symétriquement opposée, destinée à raidir les chevrons.

Embrèvement : n. m. Assemblage constitué d'une entaille prismatique destinée à recevoir l'extrémité d'une pièce taillée selon un profil inverse.

Enfourchement : n. m. Assemblage, généralement placé en tête des chevrons, constitué d'une mortaise ouverte dans laquelle se loge un tenon.



Enrayure : n. f. Ensemble de pièces horizontales rayonnantes à partir d'une base (poinçon ou entrait).

Entablement : n. m. Partie sommitale d'un mur sur laquelle s'appuie la charpente du comble.

Entrait : n. m. Pièce de bois horizontale joignant les deux chevrons d'une ferme et travaillant en traction, contre l'écartement de celle-ci. Entrait retroussé : entrait rehaussé dans la ferme et travaillant en traction. Faux-entrait : entrait placé au-dessus d'un entrait retroussé et ne travaillant pas en traction.

Entretoise : n. f. Pièce de bois placée entre deux autres.

Entrevous : n. m. Espace compris entre deux pièces de bois consécutives.

Enture : n. f. Assemblage de deux pièces placées dans le prolongement l'une de l'autre.

Épure : n. f. Dessin grandeur nature d'une structure destinée à l'établissage des bois.

Équarrir : v. t. Donner une forme de section carrée ou rectangulaire à une grume.

Ergot : n. m. Retour de 2 à 3 cm ménagé en gorge des assemblages à mi-bois.

Établissage : n. m. Action qui consiste à choisir les bois, les orienter, les ligner, les mettre sur ligne et piquer les assemblages. Face d'établissage : face d'un bois qui sert de référence pour son orientation, parfois pour son lignage et le marquage.

Étrésillonnement : n. m. Dispositif destiné à liaisonner entre eux plusieurs éléments de structure d'une charpente.

Étrésillonner : v. t. Liaisonner.

Ferme : n. f. Ensemble de pièces assemblées dans un même plan vertical, transversal au comble et constituant l'élément porteur principal de la charpente.

Ferme et panne : n. m. Type de charpente dans laquelle les chevrons sont portés par des pannes et ne constituent pas une série de fermes successives.

Flache : n. m. Dépression à la surface d'un bois provenant d'une déformation naturelle.

Gorge : n. f. Partie oblique d'une mortaise qui suit l'inclinaison de la pièce tenonnée.

Gouge : n. f. Sorte de ciseau à lame concave pour exécuter les entailles arrondies.

Grume : n. f. Tronc d'arbre abattu, ébranché et encore recouvert de son écorce.

Jambe de force : n. f. Pièce de charpente verticale ou inclinée placée en partie inférieure d'un chevron ou d'un arbalétrier pour le soutenir. Synonyme de « jambette ».

Joue : n. f. Épaisseur de bois laissée de chaque côté d'un assemblage femelle.

Lambris : n. m. Recouvrement en planchettes de bois d'une surface, d'un pan de bois ou d'une voûte.

Languette : n. f. Partie saillante en forme de petit tenon continu destinée à pénétrer dans une rainure.

Lattis : n. m. Ensemble de lattes fixées sur les chevrons et sur lesquelles sont posés les matériaux de couverture.

Lierne : n. f. Pièce de bois horizontale placée longitudinalement au comble.

Lignage : n. m. Opération qui consiste à tracer les lignes d'assemblages sur une ou plusieurs faces d'un bois.

Mi-bois : n. m. Assemblage de deux pièces de bois qui s'appliquent l'un dans l'autre dans des entailles ouvertes, creusées à la moitié ou au tiers de l'épaisseur des bois. Mi-bois à queue d'aronde : assemblage à mi-bois dont l'entaille est en forme de trapèze ou d'une queue d'hirondelle. À demi-queue d'aronde : en demi-queue d'hirondelle.

Mise-dedans : n. f. Opération qui consiste à pré-assembler les bois sur l'épure pour contrôler l'exactitude du taillage et pour effectuer certains percements.

Mise sur ligne : n. f. Opération qui consiste à poser les bois sur les lignes de l'épure.

Moise : n. f. Chacune des deux pièces de bois parallèles qui assurent la fixation d'une autre passant entre elles.

Mortaise : n. f. Entaille pratiquée dans l'épaisseur d'un bois et destinée à recevoir un tenon.

Mouton : n. m. Pièce de bois à laquelle une cloche est suspendue par ses anses.

Nœud : n. m. Dans un tronc d'arbre, endroit où se forme une branche et où les fibres prennent une autre direction.

Noue : n. f. Pièce d'une croupe placée à la rencontre rentrante de deux versants d'une toiture.

Panne : n. f. Pièce de bois horizontale placée longitudinalement au comble, portée par des arbalétriers et destinée à soutenir les chevrons.

Piquage : n. m. Opération qui consiste à tracer précisément sur les bois l'emplacement et le profil des assemblages à tailler.

Poinçon : n. m. Pièce de bois verticale, placée dans l'axe d'une ferme et travaillant en traction. Poinçon de fond : poinçon assemblé en tête dans les chevrons ou les arbalétriers et en pied dans l'entrait à la base de la ferme. Faux-poinçon : poinçon assemblé en tête dans un faux-entrait et en pied dans un entrait. Poinçon haut : poinçon établi dans la partie haute de la ferme et assemblé en pied dans un entrait retroussé ou un faux-entrait.

Portée : n. f. Distance comprise entre deux points d'appui.

Rainette : n. f. Outil de traçage qui présente une pointe métallique recourbée à l'extrémité pour enlever un léger copeau.

Rainure : n. f. Entaille rectangulaire continue destinée à recevoir une languette.

Rampant : n. m. Surface inclinée d'un comble.



Ressaut : n. m. Décrochement travaillé de la surface d'un bois pour donner une sur-répaisseur à la pièce.

Retrait : n. m. Rétraction d'un bois qui se produit lors de sa dessiccation.

Rive : n. f. Bord latéral.

Rossignol : n. m. Petite cale de bois placée dans la mortaise pour combler le vide nécessaire à l'engagement du tenon.

Rouanne : n. f. Outil de gravage composé d'une pointe métallique et d'une rainette et destinée à tracer des cercles.

Sablière : n. f. Dans un comble, pièce de bois horizontale, placée longitudinalement au comble et qui reçoit le pied des chevrons. Dans un pan de bois, elle s'assemble en tête ou au pied d'un panneau de façade.

Semelle : n. f. Pièce de bois servant de point d'appui.

Solive : n. f. Pièce de bois horizontale posée sur les poutres maîtresses ou sommier d'un plancher ou d'un plafond.

Sommier : n. m. Grosse poutre transversale à l'édifice qui relie les façades ou les murs goutteux et qui supporte parfois les solives d'un plancher et/ou d'un plafond.

Sous-chevron : n. m. Pièce de bois placée parallèlement au chevron, sous celui-ci.

Sous-face : n. f. Face inférieure.

Sous-faîtage : n. m. Pièce de bois horizontale, placée dans l'axe longitudinal d'un comble et sous une faîtière.

Tarière : n. f. Outil métallique muni d'une vrille servant à percer des trous dans le bois.

Tenon : n. m. Extrémité d'une pièce de bois taillée de manière à rentrer dans une mortaise. Tenon bâtard : tenon qui ne possède qu'un seul arasement. Faux-tenon : petite pièce de bois pénétrant dans deux mortaises mises en face l'une contre l'autre.

Tirant : n. m. Pièce de bois travaillant en traction.

Traceret : n. m. Outil de traçage en métal terminé par une pointe très fine.

Trait : n. m. Ensemble des procédés graphiques qui permettent la réalisation des épures.

Triangulation : n. f. Rapport équilibré de forces circulant dans une ferme au travers d'un couple de chevrons ou d'arbalétriers, d'un entrain et d'un poinçon de fond assemblés entre eux. Fausse triangulation : rapport de force établi dans la partie inférieure de la ferme par un faux poinçon.

Trusquin : n. m. Outil en bois servant à tracer des lignes parallèles.

Volige : n. f. Planche fixée sur les chevrons et destinée à supporter les matériaux de couverture.

